

Unto Karjalainen

Energiatehokkuuden merkitys kone- saleille



Tradenomi

Tietojenkäsittely

Syksy 2017



KAJAAANIN
AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tiivistelmä

Tekijä: Unto Karjalainen

Työn nimi: Energiatehokkuuden merkitys konesaleille

Tutkintonimike: Tradenomi, tietojenkäsittely, datacenter-ratkaisut

Asiasanat: Konesalit, energiatehokkuus, energiansäästö, pilvipalvelut, jäähdytys, energiatehokkuusmittarit

Datakeskusten määrä ja koko ovat kasvaneet pilvipalveluiden kasvun johdosta viimeisen vuosikymmenen aikana. Samaan aikaan datakeskuksissa ja konesaleissa kulutetun energian määrä on kasvanut huomattavasti. Sen vuoksi on tärkeää huolehtia konesalien energiatehokkuudesta, koska muutoin taloudelliset menetykset voivat olla merkittäviä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä yhteen yleistä tutkimustietoa konesalien energiankulutuksesta ja energiatehokkuudesta sekä näiden mittaamisesta. Tavoitteena oli koota yhteen ohjeita, keinoja ja tietoutta kuinka voidaan parantaa konesalien energiatehokkuutta.

Työssä selvitetään aluksi konesalien tekniikan perusteita ja siihen liittyviä termejä. Sitten esitellään mitkä konesalin toiminnot käyttävät energiaa ja sen jälkeen käydään läpi energiankulutuksen mittaamista ja energiatehokkuusmittareita. Lisäksi tarkastellaan jäähdytystä, joka on yksi konesalin suurimmista yksittäisistä energiaa käyttävistä toiminnoista. Tässä osiossa käydään läpi yleisimpiä jäähdytysmenetelmiä ja mitä voidaan saavuttaa jäähdytystä optimoimalla. Hyvin toimiva jäähdytys on erittäin tärkeä elementti konesalin luotettavan ja taloudellisen toiminnan kannalta.

Työssä kerrotaan, kuinka konesalin eri prosesseista on mahdollista löytää säästöjä selvittämällä, millainen on energiatehokas konesali ja mitä keinoja on olemassa näihin tavoitteisiin pääsemiseksi. Tavoitteena oli selvittää, miten nämä toiminnot voidaan tehdä kustannustehokkaammiksi parantamalla suunnittelua ja konesaliprosessien seurantaa. Apuna toimivat nykyaikaiset datakeskusten valvonta- ja hallintajärjestelmät, jotka ovat konesalien toimintojen kehittämisessä erittäin tärkeitä työkaluja. Ilman niitä konesalien toimintojen reaaliaikainen seuraaminen olisi lähes mahdotonta.

Työn tuloksissa kerrotaan, että energiaa on mahdollista säästää siten, että mitataan johdonmukaisesti sähkönkulutuksen kaikkia eri osa-alueita ja näiden tietojen perusteella tehdään muutoksia konesaliin. Muutokset voivat liittyä joko konesalin rakenteisiin ja laitteisiin tai konesalin prosessien hallintaan ja toimintatapoihin. Tehtyjen muutoksien toteutumista on myös jatkuvasti seurattava.

Työn lopussa on muutama teoreettinen energiansäästölaskelma, jotka perustuvat opinnäytetyön aikana kerättyyn tietoon ja Kajaanin ammattikorkeakoulun tietojärjestelmälaboratorion konesalin laitteiden teknisiin tietoihin. Nämä laskelmat tehtiin etsittäessä mahdollisia energiansäästöjä koulun konesalissa. Laskelmat osoittavat, että säästötoimenpiteitä kannattaa etsiä ja ottaa käyttöön, sillä usean pienen toimenpiteen tuloksena kokonaistulokset voivat olla merkittäviä.

Abstract

Author: Unto Karjalainen

Title of the Publication: The Importance of Energy Efficiency for Data Centers

Degree Title: Bachelor's degree in Business Information Technology, datacenter major

Keywords: Datacenters, cloud computing, energy efficiency, energy saving, cooling, energy efficiency indicators

The number and size of data centers required for cloud services has grown strongly over the last decade. At the same time the amount of energy needed by data centers has also increased substantially. It is therefore important to look after data center energy performance, because otherwise economical losses can be substantial.

The aim of the thesis was to gather together general research data on the energy consumption and energy efficiency of data centers and how these things are measured. One of the main objective was to bring together instructions, methods and knowledge how to improve energy efficiency of data centers.

In addition, one objective was to examine the concept of a data centers and related terminology. Furthermore, the purpose was to find out the functions related to the operation of a data center energy use. The work also examines various energy-efficiency measuring indicators. One of the biggest energy-using functions of the data center is cooling, which is further explored in this thesis. This section focuses on the most common cooling methods and explores what can be achieved by optimizing cooling system. A well-functioning cooling is an important issue for data centers reliable and economic operation.

The work also states that it is possible to find savings from data centers by first finding out the principles of an energy-efficient datacenter and then what are the means to achieve these goals. One aim was to study how these functions can be made more cost-efficiently by better planning and data center processes monitoring. It was also noted that latest data center infrastructure control and management tools are essential instruments in the development of data center operations, because without them the important real-time data center monitoring would be difficult.

The results of the work show that it is possible to save energy by continually measuring electricity consumption and making changes to the data center based on these measurement data. These changes may relate to either the data center's structures and devices or the data center's policies and practices. The implementation and success of changes must also be constantly monitored.

At the end of the thesis, some theoretical calculations are made to find potential energy savings at the Kajaani University of Applied Sciences Information Systems Data Center. These calculations are based on the knowledge collected during the thesis process and the technical information of the equipment at the school's Data Center. The calculations show that it is worthwhile to search and deploy saving measures in data centers, because several small measures can lead to significant overall savings.

Alkusanat

Kiitoksia läheisilleni, ystävilleni sekä opettajilleni siitä, että he kannustivat koko opiskeluaikani yrittämään ja ponnistelemaan, jotta valmistuisin ajoissa, saisin opintoni hyvin arvosanoin päätökseen sekä saisin opinnäytetyön arveluistani huolimatta valmiiksi.

Kajaanissa 4.12.2017

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Konesali eli datacenter	3
2.1	Konesalien luokittelut	3
2.2	Konesalien luokitus pinta-alan ja laitekaappien lukumäärän mukaan	4
2.3	Konesalien luokitus tehonkulutuksen mukaan	5
2.4	Konesalien luokitus laskentakapasiteetin mukaan	6
2.5	Energiatehokkain eli vihrein konesali	8
3	Konesalin kustannusten eri osa-alueet	10
3.1	Energiakustannukset	10
3.2	Elinkaarikustannukset	11
3.3	Kokonaiskustannukset	12
3.4	Energiankulutuksen kasvu	13
3.5	Pienissä konesaleissa huono energiatehokkuus	15
3.6	Tietoa yhdysvaltalaisista konesaleista	15
4	Energiatehokkuus	17
4.1	Energiatehokkuudelle on tarvetta	17
4.2	Konesalien tehokkuuden selvittäminen	18
4.3	Konesaleissa suuret säästömahdollisuudet	19
5	Energiatehokkuuden mittaaminen	21
5.1	PUE-arvo	21
5.2	ERE-arvo	22
5.3	DCIE	23
6	Energiatehokkuuden keinoja ja apuvälineitä	24
6.1	Data Center Infrastructure Management	24
6.2	DCIM-järjestelmän hyödyt	25
6.2.1	Dokumentointi	25
6.2.2	Ajankäytön ja energian säästö sekä liiketoiminnan uudet mahdollisuudet	26
6.2.3	Turvallisuus	26
6.3	DCIM-järjestelmän toiminnallisuudet	27
6.3.1	Mallinnusten luominen - Design phase	29
6.3.2	Toimintanäkymä - Operations phase	30
6.3.3	Monitorointi - Monitoring phase	31

6.3.4	Ennustava analysointi - Predictive Analysis phase.....	32
6.3.5	Suunnittelu - Planning phase	33
6.4	Haamupalvelimet	35
6.5	Ilmankosteuden säätölaitteet.....	36
6.6	Sähkösyyttö, varavirtalaitteet ja tasasähkö.....	36
6.7	Valaistus	38
6.8	Palvelinlaitteiden virtualisointi	38
6.9	Laskentakuorman vaikutus hyötysuhteeseen	38
6.10	Käyttöille resursoidun kapasiteetin ylimitoittaminen	39
6.11	Kuormantasausta- ja virranhallintateknologiat	43
6.11.1	Distributed Resource Scheduler.....	43
6.11.2	Distributed Power Management DPM	44
6.11.3	Host Power Management HPM.....	44
6.12	KAMK:n tietojärjestelmälaboratorion oman konesalin vCenterin DRS-toiminto	45
6.13	Energiatehokkaat laitteet.....	51
6.13.1	Energy Star ja TCO Certified yhteensopivuus	51
6.14	Konvergenssit järjestelmät	52
7	Jäähdytys.....	54
7.1	Jäähdytyksen elinkaarikustannus	54
7.2	Jäähdytyksen älykäs ohjaus.....	55
7.3	Kaapeloinnin ja ristikytkentäkaappien jäähdytys	55
7.4	Ympäristön vaikutus jäähdytykseen ja PUE-arvoon	55
7.5	Jäähdytyksen energiatehokkuus	56
7.6	Palvelinten optimaalinen sijoittelu sekä kuuma-kylmäkäytävät	57
7.6.1	Konesalien suuret paikalliset lämpökuormat	59
7.6.2	Konesalien liiallinen jäähdytys	60
7.7	Jäähdytysilman kohdistus ja jäähdytyksen lämpötilaeron kasvattaminen	60
7.7.1	Jäähdytystehon alentaminen tuo säästöjä	61
7.8	Keskitetty ja dynaaminen jäähdytysjärjestelmä.....	61
7.9	Vapaajäähdytys on energiatehokkain jäähdytys	62
7.10	Hukkalämmön hyödyntäminen ja kaukokylmä	62
7.11	Nestejäähdytys.....	63
8	Ammattikorkeakoulun tietojärjestelmälaboratorion opiskelijakäyttöinen konesali	64
9	Ehdotuksia toimenpiteiksi KAMK:n tietojärjestelmälaboratorion konesaliin	68
9.1	Laitekaappien energiankulutus	68

9.2	VMware vCenter -ohjelmiston sisäänrakennetut virransäästötoiminnot ...	69
9.3	Jäähdytyksen energiankulutus	70
9.3.1	Kylmä- ja kuumakäytävillä saavutettava säästö	71
9.3.2	Jäähdytysilman lämpötilan nostolla saavutettava säästö	71
9.4	Virransyötön ja varavirtalähteen hyötysuhteen parantaminen.....	72
9.5	Kaikki energiansäästötoimenpiteet yhdessä.....	72
10	Pohdinta.....	74
	Lähteet.....	78
	Liitteet	

Symboliluettelo

AFCOM	Association for Computer Operations Management. Nykyisin Advancing Data Center and IT Infrastructure Professionals. Yhdistys tuottaa puolueetonta koulutusta, tietoa sekä verkostoitumista konesali- ja tietoverkkoammattilaisille. Perustettu v. 1980.
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Yhdistys keskittyy edistämään rakentamisen tekniikkaa, rakennusten energiatehokkuutta, sisäilman laatua, jäähdytystä ja kestäväen kehityksen teknologiaa. Perustettu v. 1894.
CI	Convergence Infrastructure. Konvergenssi järjestelmä integroi hallintaohjelmiston, palvelimet, tallennuksen ja verkon yhdeksi kokonaisuudeksi. Tavoitteena hallinnan yksinkertaisuus ja ylläpidon kustannussäästöt. Toisin kuin hyperkonvergenssit järjestelmät, CI on mahdollista purkaa komponentteihin, jotka toimivat itsenäisesti.
CRAC	Computer Room Air Conditioning. Tietokoneita paljon sisältävän tilan jäähdyttämiseen käytettävä laitteisto.
CSC	Center for Scientific Computing. Tieteen tietotekniikan keskus Oy. Valtion omistama, opetus- ja kulttuuriministeriön hallinnoima voittoa tavoittelematon osakeyhtiö. Tarjoaa tietoteknisiä palveluja, jotka kattavat laskenta- ja tietoliikennepalvelut sekä ohjelmisto-, data- ja tietohallintopalvelut. Perustettu atk-tukipalveluna v. 1971 ja toiminut nykymuotoisena 1993 alkaen.
DCIE	Data Center Infrastructure Efficiency. Arvo mittaa konesalin energiatehokkuutta. Käänteinen arvo verrattuna PUE-arvoon.
DCIM	Data Center Infrastructure Management. Konesalijärjestelmien hallinnointia, monitorointia ja dokumentointia. Järjestelmiä ovat mm. palvelimet, levyjärjestelmät, verkon aktiivilaitteet, UPS-järjestelmät ja jäähdytyslaitteet. Parhaimmillaan muodostaa mahdollisimman täydellisen ja realistisen virtuaalisen kuvan fyysisestä konesalista.
DOE	United States Department of Energy. Yhdysvaltain energiaministeriö, jonka vastuulla on ydinenergia- ja aseet, ydinturvallisuus, radioaktiivisen jätteen hävittäminen, kotimaisen energian tuotanto ja

energiansäästäminen sekä energiaan ja genomiin liittyvä tutkimustyö. Perusti vuonna 1977 presidentti J. Carter.

DRS	Distributed Resource Scheduler. Keskitetty resurssien jakamisen hallinta. VMwaren vCenter -ohjelmistossa käytetty kuormantasausta hostien välillä. Asetus voi olla manuaalinen tai puoli- tai täysautomaattinen.
DPM	Distributed Power Management. Keskitetty virranhallinta. VMware vCenter -ohjelmistossa käytetty virransäästötoiminto, joka siirtää virtuaalikoneita yksille hosteille ja asettaa sitten tarpeettomat hostit lepotilaan vähäisen resurssientarpeen aikana. Hostit käynnistetään uudestaan, kun resursseja taas tarvitaan. Asetettu vähimmäisaika vähintään viisi minuuttia.
Energy Star	Energiatehokkaiden laitteiden kansainvälinen standardi. Merkintä kehitettiin Yhdysvaltain ympäristönsuojeluvirastossa vuonna 1992. Merkintä koskee laitteita, jotka kuluttavat 20–30 prosenttia vähemmän energiaa kuin viranomaisvaatimukset edellyttävät.
EPA	The U.S. Environmental Protection Agency. Yhdysvaltain ympäristönsuojeluvirasto, jonka perusti vuonna 1970 presidentti R. Nixon.
ERE	Energy Reuse Effectiveness. Arvo mittaa konesalin energiatehokkuutta. Ottaa huomioon konesalista poistetun ylimääräisen lämmön hyväksikäytön esim. rakennuksen lämmitykseen.
ESIF	Energy System Integration Facility. NREL:n käyttämä rakennus, joissa olevilla laitteilla tutkitaan käytännössä rakennusten ja konesalien energiansäästöä ja uusiutuvaa energiaa. Valmistunut 2013.
HCI	Hyper-Convergence Infrastructure. Hyperkonvergenssi järjestelmä. Ohjelmistokeskeinen infrastruktuuri, joka integroi laskennan, tallennuksen, verkon ja virtualisoinnin resurssit yhdeksi kokonaisuudeksi. Rakennetaan yhteensopivista komponenteista. Tavoitteena yksinkertaisempi ylläpito ja suorituskyky, joka alentaa käyttökustannuksia. Purettuna osiin yksittäiset komponentit eivät voi toimia itsenäisinä osina.

HPC	High-Performance Computing. Termiä käytetään supertietokoneista tai järjestelmistä, jotka tekevät enemmän kuin teraflopin (10^{12}) verran laskutoimituksia sekunnissa.
HPM	Host Power Management. Hostien virranhallinta. VMware vSphere -ohjelmiston virransäästötoiminto, joka asettaa hostin laitteiston tai osia siitä alennetun tehon tilaan, silloin kun niiden ei tarvitse toimia täydellä teholla. Alennetut tilat voivat kestää vain millisekunteja.
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning. Tietokoneita paljon sisältävän tilan jäähdyttämiseen käytettävä laitteisto.
IPMI	Intelligent Platform Management Interface on Intelin kehittämä protokolla, jonka avulla eri laitevalmistajien hallintajärjestelmät voivat viestiä toisten valmistajien palvelinten ja järjestelmien kanssa.
Laitekaappi	Full-size rack/cabinet. Standardin mukaisessa telineessä on 42 päällekkäistä räkkiyksikköä (Rack Unit). Tämä voi olla suljettu tai avoin kaappi. Laiteteline on n. 187 senttimetriä korkea.
LBNL	Lawrence Berkeley National Laboratory. Yhdysvaltain energiaministeriön rahoittama kansallinen tutkimuslaitos jota hallinnoi Kalifornian yliopisto Berkeleyn campuksella. Perustettu v. 1931.
Motiva	Motiva on asiantuntijayritys, joka edistää ja kannustaa energian ja materiaalien tehokasta ja kestäväää käyttöä. Motivan palveluja hyödyntävät niin julkinen hallinto, yritykset ja yhteisöt kuin kuluttajatkin. Motivassa on 57 työntekijää ja sen liikevaihto on 6,1 miljoonaa euroa (2010)
NREL	National Renewable Energy Laboratory. Yhdysvaltain omistama ja energiaministeriön alaisuudessa toimiva uusiutuvan energian käyttöä tutkiva laboratorio. Perustettu vuonna 1977.
PSU	Power Supply Unit. Virtalähde, joka muuntaa verkkovirran vaihtojännitteen tietokoneelle sopivaksi tasajännitteeksi.
PUE	Power Usage Effectiveness. Arvo mittaa konesalin energiatehokkuutta. Paras arvo on 1, jolloin kaikki käytetty energia menee atklaitteisiin.

Räkkiyksikkö	Rack Unit. Standardisoitu yhden laitteen korkeus laitetelineessä, johon voi asentaa 19 tuumaa (482,6 mm) leveällä etulevyllä varustettuja laitteita. Räkkiin kiinnitettävien laitteiden korkeutta mitataan käyttämällä U-yksikköä. Yhden räkkiyksikön korkeus on 44,45 mm (1,75 tuumaa). Yhden räkkiyksikön korkuinen laite merkitään merkinnällä "1U", kahden räkkiyksikön korkuinen laite "2U" jne.
SAN	Storage area network. Tallennusverkko on tietokonejärjestelmiä yhdistävä verkkoteknologia, jolla erotetaan massamuistit palvelimista. Se on usein ympärillä olevan lähiverkon osa ja kytkee massamuistit ja palvelimet toisiinsa. Tietovarastot koostuvat massamuisteista, joita hyödyntävät usein tuhannet käyttäjät yhtä aikaa, joten verkolta vaaditaan luotettavuutta ja vikasietoisuutta.
SNMP	Simple Network Management Protocol on TCP/IP-verkkojen hallinnassa käytettävä tietoliikenneprotokolla. Sen avulla kysytään jonkin verkkolaitteen tilaa tai laite voi itsenäisesti antaa hälytyksiä. DCIM monitoroi laitteiden lähettämiä SNMP -protokollan tietoja.
TCO	Total Cost of Ownership. Tuotteen elinkaaren käyttökustannukset ovat arvio kuluista, joita kertyy laitteen käyttöiän aikana.
The Green Grid	Avoin, voittoa tavoittelematon, yleiseen käyttöön tietoa tuottava ITC-alan yhteenliittymä, jonka tarkoitus on tehostaa konesalien energiatehokkuutta. Perustettu vuonna 2006.
UPS	Uninterruptible Power Supply. Keskeytymätön virransyöttö. Takaa tasaisen virransyötön sähkökatkoksissa ja jännitteen epätasaisuuksissa. UPS liitetään virtalähteen ja virtaa käyttävän laitteen väliin ja varavirranlähteenä käytetään yleensä akkuja.

1 Johdanto

Työn aiheena on energiatehokkuuden merkitys konesaleille ja tämän otsikon alla tutkitaan, kuinka konesalien energiankulutus on kasvanut, mitkä ovat konesalien energiankulutuksen osa-alueet sekä kuinka voi parantaa konesalien energiatehokkuutta. Lisäksi tehdään laskelmia eri laitteiden energiankulutuksesta sekä etsitään säästötoimenpiteitä.

Datakeskusten määrä lisääntyy, koska pilvipalveluiden kysyntä kasvaa jatkuvasti erilaisen verkkopalveluiden vallatessa koko ajan enemmän aikaa ihmisten elämässä ja liikeyritysten toiminnassa. Näihin palveluihin tarvittavien datakeskusten lukumäärän lisäksi niiden koot ovat kasvaneet voimakkaasti viimeisen vuosikymmenen aikana.

Datakeskukset tarvitsevat toimiakseen runsaasti sähköä ja jäähdytystä ja datakeskusten kuluttama energiamäärä onkin kasvanut merkittävästi. Työn yhtenä tavoitteena oli kerätä yhteen yleistä tutkimustietoa konesalien energiankulutuksesta ja energiatehokkuudesta sekä näiden seikkojen mittaamisesta. Tarkoituksena oli koota yhteen ohjeita, keinoja ja tietoutta kuinka voidaan parantaa konesalien energiatehokkuutta. Tästä aihealueesta tutkittiin lisäksi erilaisia jäähdytysjärjestelmiä ja niiden toimintaa parantavia energiatehokkaita menetelmiä.

Yleisen käsityksen mukaan konesalien määrän ja energiankulutuksen kasvussa ei ole nähtävissä vielä taitekohtaa. Tämän vuoksi konesalitoimijoiden kannattaa kiinnittää huomiota atk-ympäristön eko- ja energiatehokkuuteen, pitää huolta prosesseja tarkkailevien mittarien jatkuvasta seuraamisesta sekä varmistaa, että näiden mittareiden avulla kehitetään entistä tehokkaammin energiaa hyödyntävää teknologiaa. Konesalitoiminnan energiatehokkuudesta pitää huolehtia, koska puutteellisella suunnittelulla, leväperäisellä toteutuksella ja huolimattomalla ylläpidolla on mahdollista tuhata paljon energiaa ja samalla tietenkin huomattavasti rahaa.

Työ tehdään Kajaanin ammattikorkeakoulun tietojärjestelmät -koulutusohjelman opettajien ehdotuksesta. Olisi hyvin mielenkiintoista saada tietää, kuinka paljon opiskelijoiden tietojärjestelmälaboratorion konesalin laitteet kuluttavat energiaa. Koska kyseessä on opiskelijoiden käytössä ja vastuulla oleva konesali, sinne olisi myös mahdollista asentaa mittalaitteita, tehdä testejä ja mittauksia ja lopulta jopa ottaa käyttöön energiaa säästävistä toimenpiteistä.

Tietojen keräyksen tuloksena saatiin yleistä oppilaitostasoista teoriatietoa sekä tutkimuslaitosten kokoamaa aineistoa konesalien energiankulutuksesta. Lisäksi tutkittiin lehti- ja

nettiartikkeleita ja konesalien suunnitteluoppaita. Tästä aineistosta kerättiin raportti ja yhteenveto, jossa tuodaan esille mm. hyvin toimivan jäähdytyksen merkitys konesalin taloudellisen toiminnan kannalta. Lisäksi työssä esitellään myös muita energiatehokkuuteen vaikuttavia toimenpiteitä, kuten palvelinlaitteistojen virtualisoinnin merkitys konesalien kuormantasauksessa ja hyötysuhteen parantamisessa sekä haamupalvelinten tunnistamisen ja käytöstä poistamisen merkitys. On myös tärkeää huomata se, että kuinka tärkeitä nykyiset konesalien hallinta-, valvonta- ja dokumentointijärjestelmät ovat luotettavan ja energiatehokkaan datakeskusten suunnittelussa, ylläpidossa ja kehittämisessä.

Työn lopussa tehdään myös muutama teoreettinen laskelma, jossa perehdytään Kajaanin ammattikorkeakoulun opiskelijakäytössä olevan konesalin energiansäästömahdollisuuksiin. Energiatehokkuuden tärkeys tuodaan lopuksi esille taloudellisen näkökulman lisäksi myös siinä, että maailmanlaajuisessa mittakaavassa konesalien energiankulutuksella on todellakin merkitystä myös ympäristösuojelun näkökulmasta.

2 Konesali eli datacenter

Käsite konesali voi tarkoittaa eri asioita eri ihmisille. Sillä on monia nimiä, kuten datacenter, datakeskus, palvelinkeskus, tietokonesali, konesali, datavarasto, datafarmi. Lyhyt määritelmä selittää, että se on tietoteknistä käyttöä varten erityisesti varustettu ja rajattu tila tai rakennus, jossa on paljon tiettyyn tarkoitukseen muokattuja tietokoneita ja niitä tukevia järjestelmiä ja jotka tallentavat ja prosessoivat suuria määriä tietoa. (Motiva 2010, 4; Rouse 2010; Wikipedia 2017a.)

Konesalin laitteet toimivat sähköllä ja vaativat toimiakseen ympäristöltä vakaat olot sekä suojauksen. Pieniä konesaleja nimitetään palvelinhuoneiksi, server room ja suurempia, tarkoitusta varten rakennettuja rakennuksia, joihin voidaan sijoittaa suuri määrä atk-laitteita, nimitetään datakeskuksiksi, data center. Konesaleihin voi sijoittaa omia laitteita, jolloin se on ns. oma konesali. Niitä voi myös vuokrata useammalle toimijalle, eli tällöin se on ns. kaupallinen konesali. (Motiva 2010, 4; Rouse 2010; Wikipedia 2017a.)

Konesalit kuluttavat huomattavan määrän energiaa ja samalla muodostavat paljon lämpöä. Tämä lämpö on saatava poistettua laitetoista, sillä atk-laitteet eivät toimi luotettavasti liian kuumassa. Konesalien vaatima tehokas jäähdytys (CRAC, Computer Room Air Conditioning) vaatii myös runsaasti energiaa. Konesalin atk-laitteille pitää silti pystyä takaamaan vakioitu ympäristö eli vakaa ja riittävä virransyöttö, varavoima, jäähdytys ja il-
mankosteuden hallinta. (Motiva 2010, 4; Rouse 2010; Wikipedia 2017a.)

Yhdysvaltain ympäristönsuojeluvirasto (EPA) määrittää datacenterin seuraavasti: Konesali käsittää pääasiassa sähköisiä laitteita datan prosessointiin (palvelimet), varastointiin (levyjärjestelmät) ja kommunikointiin (verkkolaitteet). Yhdessä tämä laitteisto prosessoi, varastoi ja välittää digitaalista informaatiota. Erikoistuneet virranmuuntamisen ja virranvarmistuksen laitteet pitävät yllä luotettavaa virransyöttöä, kuten myös konesalin ilmastointilaitteet pitävät yllä sopivaa lämpötilaa ja ilmentä kosteutta atk-laitteille. (EPA 2012, 2.)

2.1 Konesalien luokittelut

Konesaleja voidaan luokitella rakennusten atk-laitteille varatun pinta-alan ja näiden laitekaappien tehonkulutuksen perusteella. Lisäksi konesaleja voidaan luokitella niiden laskentatehon perusteella. Konesaleja on olemassa monen kokoisia ja tehoisia, uudempia ja vanhempia, ja myös niiden käyttötarkoitus voi vaihdella omistajan mukaan. Mutta yksi

periaate on kaikille sama: tarjota käyttäjille tietojenkäsittelyn palveluita vuoden ja vuorokauden ympäri mahdollisimman nopeasti, turvallisesti ja vähin katkoksia sekä kustannuksiltaan edullisesti. Kuvassa 1 esimerkkinä näkymä Lawrence Berkeley National Laboratory (jatkossa LBNL) konesalin sisältä, joissa sijaitsee palvelimia, verkkolaitteita, levyjärjestelmiä, virransyöttölaitteita ja varavirtajärjestelmiä sisältäviä laitekaappirivistöjä. (Geng 2015, 4.)



Kuva 1. National Renewable Energy Laboratory data center (LBNL 2016a)

2.2 Konesalien luokitus pinta-alan ja laitekaappien lukumäärän mukaan

Seuraavassa kuvassa 2 on AFCOM:n luoma standardi konesalien luokittelusta pinta-alan ja laitekaappien (full-size rack/cabinet) määrän mukaan. Minikokoiset konesalit ovat alle 25 m² kokoisia ja niissä on laitekaappeja 10 tai alle. (AFCOM 2014, 8.)

Näiden luokitusten mukaan esimerkiksi Kajaanin ammattikorkeakoulun opetuskäytössä olevan tietojärjestelmälaboratorion konesali kuuluu luokkaan Mini data center.

DATA CENTER SIZE			
Size Metric	Rack Yield	Compute Space	
		SQFT (ft ²)	SQM (m ²)
Mega	>= 9,001	>= 225,001	>= 22,501
Massive	3,001 – 9,000	75,001 – 225,000	7,501 – 22,500
Large	801 – 3,000	20,001 – 75,000	2,001 – 7,500
Medium	201 – 800	5,001 – 20,000	501 – 2,000
Small	11 – 200	251 – 5,000	26 – 500
Mini	1 – 10	1 – 250	1 – 25

Kuva 2. Konesalien luokitus pinta-alan ja laitekaappien määrän perusteella (AFCOM 2014)

2.3 Konesalien luokitus tehonkulutuksen mukaan

Kuvassa 3 on luokiteltuna konesalit laitekaappien täytön ja virrankulutuksen mukaan. Matalan virrankulutuksen konesaleissa on sijoitettuna alle 4 kW kulutuksen verran laitteita yhteen laitekaappiin. Erittäin suuren energiankulutuksen laitekaapissa on vähintään neljä kertaa enemmän virtaa kuluttavia laitteita kuin alimman kategorian laitekaapissa. Se merkitsee myös sitä, että kun energiankulutusta on noin paljon, jäähdytyksen tulee olla todella hyvin järjestetty ja myös valvottu, sillä näin tiheä laitesijoittelu ja virrankulutus tuottavat erittäin paljon lämpöä. Yleensä näissä huippukulutuksen tapauksissa tulee kysymykseen ainoastaan nestejäähdytys, koska nesteen lämmönsiirto-ominaisuudet ovat huomattavasti paremmat kuin ilmalla. (AFCOM 2014, 8.)

KAMK:n tietojärjestelmälaboratorion konesalin kaappi nro 5 virrankulutus on ollut sen edellisen omistajan, Datakeskus CSC Kajaanin antamien tietojen mukaan maksimissaan 13 A per vaihe. Laskutoimituksen jälkeen saamme kokonaiskulutuksen lukemaksi:

$$13 \text{ A} * 3 \text{ vaihetta} = 39 \text{ A} \rightarrow$$

$$39 \text{ A} * 230 \text{ V} = 8970 \text{ W} \approx 9 \text{ kW}.$$

Tämän laskutoimituksen perusteella DC-labran konesalin kaappi numero 5:n voisi luokitella kuuluvan nipin napin luokaan High Density Metric data center. (Möttönen 2017).

DATA CENTER DENSITY		
Density Metric	Per Rack	Compute Space
Extreme	$\geq 16\text{kW}$	$\geq 16\text{kW}$
High	9 – 15 kW	9 – 15 kW
Medium	5 – 8 kW	5 – 8 kW
Low	0 – 4 kW	0 – 4 kW

Kuva 3. Konesalien luokitus laitekaappien energiankulutuksen perusteella (AFCOM 2014)

2.4 Konesalien luokitus laskentakapasiteetin mukaan

Muutama yhteisö pitää yllä luetteloa maailman tehokkaimmista konesaleista. Eräs tunnetuimmista on Top500.org, joka aloitti konesalien ja supertietokoneiden tehotietojen kokoamisen jo vuonna 1993. He keräävät luetteloonsa tietoja konesaleista, jotka suorittavat eniten laskutoimituksia sekunnissa. Heidän keräämiensä tietojen mukaan marraskuussa 2017 kärkipaikkaa piti kiinalainen Sunway TaihuLight -supertietokone, jota ylläpitää kansallinen supertietokonekeskus NSCC. Kuvassa 4 maailman tehokkain supertietokone, National Supercomputing Center in Wuxi. (Top500 Project 2017; NSCC 2017.)

TOP500 yhteisön keräämät tiedot laskentatehokkaimman konesalista:

Prosessoriytimiä:	10 649 600 kpl	
Muistia:	1 310 720 GB	
Prosessori:	Sunway SW26010 260C 1.45GHz	
Linpack suorituskyyky (Rmax)	93014.6 TFLOP/s	(mitattu)
Teoreettinen huippu (Rpeak)	125 436 TFLOP/s	(laskennallinen)
Tehonkulutus	15371 kW = 15,37 MW	(toimitettu teho)

Linpack suorituskyyky (Rmax) on mittari, jonka arvolla luokitellaan järjestelmien liukulukujen laskentatehoa. Mittauksissa tietokoneella tehdään laskentatehtäviä, joilla lasketaan lineaariyhtälöitä. Linpack on ohjelmistokirjasto, jolla suoritetaan lineaarialgebran laskentaa tietokoneilla. Lineaarialgebra tutkii vektoreita, vektoriavaruuksia, lineaarikuvauksia ja

lineaarisia yhtälöryhmiä. Linpack on kirjoitettu Fortran-ohjelmointikielellä 1970-luvulla. Iästä huolimatta Fortrania käytetään yhä runsaasti eritoten raskasta tieteellistä laskentaa vaativissa tehtävissä. (Wikipedia 2017c; Wikipedia 2017d; Wikipedia 2017e; Wikipedia 2017f.)



Kuva 4. Maailman tehokkain supertietokone (NSCC 2017)

Kuvassa 5 Top500.org luettelon kolme tehokkainta datacenteriä marraskuussa 2017.

Rank	Site	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
1	National Supercomputing Center in Wuxi China	Sunway TaihuLight - Sunway MPP, Sunway SW26010 260C 1.45GHz, Sunway NRCP	10,649,600	93,014.6	125,435.9	15,371
2	National Super Computer Center in Guangzhou China	Tianhe-2 (MilkyWay-2) - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692 12C 2.200GHz, TH Express-2, Intel Xeon Phi 31S1P NUDT	3,120,000	33,862.7	54,902.4	17,808
3	Swiss National Supercomputing Centre (CSCS) Switzerland	Piz Daint - Cray XC50, Xeon E5-2690v3 12C 2.6GHz, Aries interconnect, NVIDIA Tesla P100 Cray Inc.	361,760	19,590.0	25,326.3	2,272

Kuva 5. Kolme tehokkainta konesalia maailmassa marraskuussa 2017 (Top500 2017)

Suomalaisen Tieteen tietotekniikan keskus CSC:n konesali Kajaanissa entisen paperitehtaan tiloissa on sijalla 107 (aiempi sijoitus oli 93), joka ei sekään ole huono sijoitus tällä listalla. Kuvassa 6 näkyy suomalaisen CSC:n supertietokoneen Sisun sijoitus Top500.org:n listalla.

107	CSC (Center for Scientific Computing) Finland	Sisu - Cray XC40, Xeon E5-2690v3 12C 2.6GHz, Aries interconnect Cray Inc.	40,608	1,250.0	1,689.3	680
-----	--	---	--------	---------	---------	-----

Kuva 6. Suomalaisen CSC:n Sisu supertietokoneen sijoitus Top500 listalla kesäkuussa 2017 (TOP500 2017)

2.5 Energiatehokkain eli vihrein konesali

TOP500 yhteisö kerää tietoja myös maailman energiatehokkaimmista ja vihreimmistä konesaleista ja supertietokoneista. Kesäkuun 2017 listauksen mukaan eniten laskentasuorituksia per watti saavutti TSUBAME3.0 -supertietokone, jota ylläpitää The Global Scientific Information and Computing Center (GSIC) Tokiossa. Seuraavassa kuvassa 7 ovat listattuna kolme maailman tehokkainta, jotka suorittavat eniten laskentoja yhtä käytettyä wattia kohden. Listauksesta nähdään, että vihreän listauksen ykkönen on laskentatehokkuuslistalla sijalla 61, kakkonen on sijalla 465 ja kolmonen on sijalla 148. Tästä voimme päätellä, että tehokkuus ja energiatehokkuus eivät ole toisiaan poissulkevia määrittäjiä. (TOP500 2017.)

TOP500				Rmax	Power	Power
Rank	Rank	System	Cores	(TFlop/s)	(kW)	Efficiency (GFlops/watts)
1	61	TSUBAME3.0 - SGI ICE XA, IP139-SXM2, Xeon E5-2680v4 14C 2.4GHz, Intel Omni-Path, NVIDIA Tesla P100 SXM2, HPE GSIC Center, Tokyo Institute of Technology Japan	36,288	1,998.0	142	14.110
2	465	kukai - ZettaScaler-1.6 GPGPU system, Xeon E5-2650Lv4 14C 1.7GHz, Infiniband FDR, NVIDIA Tesla P100, ExaScaler Yahoo Japan Corporation Japan	10,080	460.7	33	14.046
3	148	AIST AI Cloud - NEC 4U-8GPU Server, Xeon E5-2630Lv4 10C 1.8GHz, Infiniband EDR, NVIDIA Tesla P100 SXM2, NEC National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Japan	23,400	961.0	76	12.681

Kuva 7. Energiatehokkain supertietokone maailmassa kesäkuussa 2017 (TOP500 2017)

Seuraavassa luettelossa on TOP500 listaamat tiedot energiatehokkaimman konesalista:

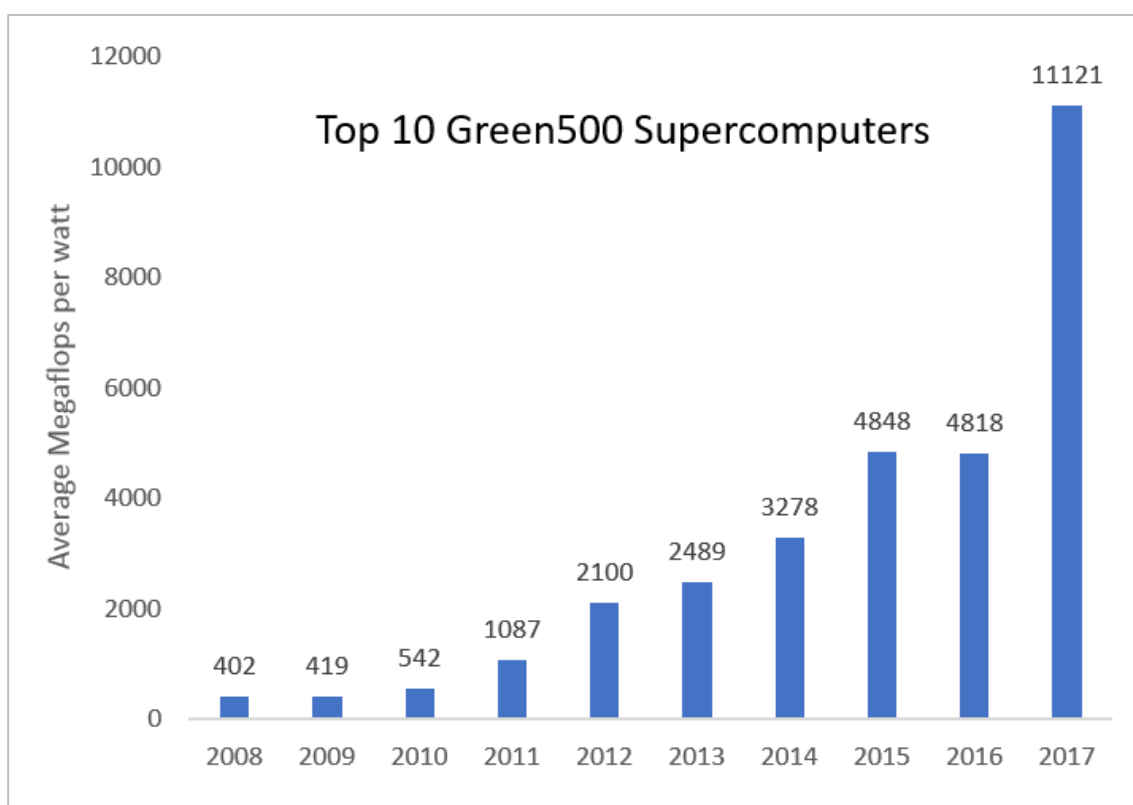
Prosessoriytimiä: 36,288 kpl

Muistia: 36,864 GB

Proessori:	Xeon E5-2680v4 14C 2.4GHz	
Linpack suorituskky (Rmax)	1,998 TFLOP/s	(mitattu)
Teoreettinen huippu (Rpeak)	3,207.63 TFLOP/s	(laskennallinen)
Tehonkulutus:	141,60 kW = 0,1416 MW (toimitettu teho)	

Kesäkuun 2017 listauksessa ei 500 parhaan energiatehokkaan listauksessa löytynyt yhtään suomalaista konesalia. (TOP500 2017.)

Seuraavassa kuvassa 8 TOP500 yhteisö näyttää vuositasolla kehityskulun siitä miten paljon konesalien ja varsinkin supertietokoneiden laskentakyky on parantunut vajaassa kymmenessä vuodessa aikavälillä 2008 vuoteen 2017. (TOP500 2017.)



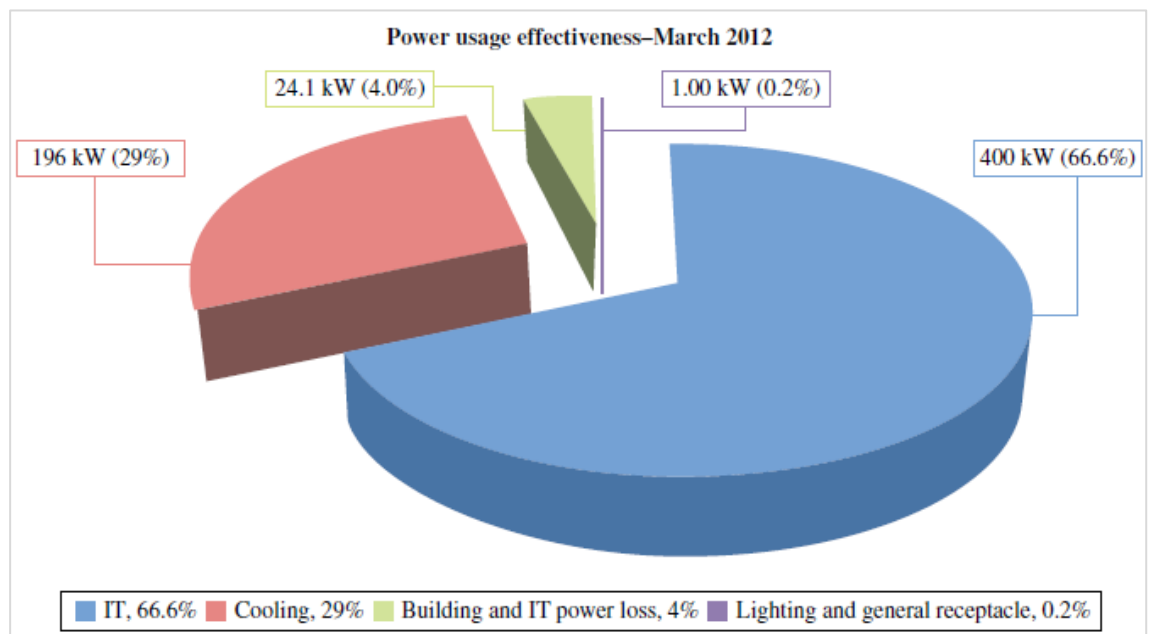
Kuva 8. Kehityskulku vuodesta 2008 vuoteen 2017 siitä, kuinka monta laskentasuoritusta sekunnissa eli Megaflopsia saadaan yhdellä watilla. (TOP500 2017)

3 Konesalin kustannusten eri osa-alueet

Konesaleista kertyviä kustannuksia voidaan katsoa eri näkökannoista: energiankulutuksen, hankintojen eli elinkaarikustannusten ja kokonaiskustannusten kautta.

3.1 Energiakustannukset

Se miten sähköä kuluu eri konesaleissa, on tietenkin yksilöllistä. Se on riippuvainen konesalin rakennuksen iästä, laitteiden iästä sekä laitoksen sijainnista. Joitakin yhteneväisyyksiä kuitenkin löytyy kaikista saleista. Atk-laitteet vievät suurimman osan sähköstä, sen jälkeen jäähdytys, sitten UPS-laitteet ja virransyötön häviöt ja lopuksi rakennuksen yleiset sähkökulut ja valaistus. Kuvassa 9 esitetään sähkönkäytön jakautuminen konesalissa eri pääaloihin. Atk-laitteet käyttävät kaksi kolmasosaa energiasta, jäähdytys yhden kolmasosan ja rippeet eli n. 5 % kuluu yleiseen käyttöön eli valaistukseen, virtahäviöihin ym. kulutukseen. Esimerkkinä käytetään Yhdysvaltain energiaministeriön (DOE) tutkimuslaitoksen Lawrence Berkeley National Laboratory konesalin tietoja. (Lucido 2012.)



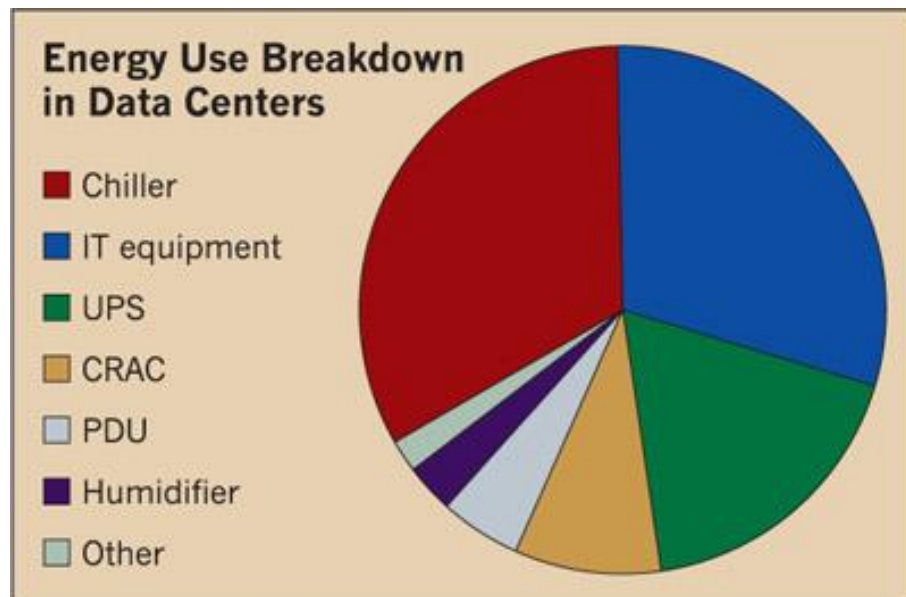
Kuva 9. Sähkönkulutuksen osa-alueet eräässä LBNL:n konesalissa (Geng 2015, 5)

DOE:n laskema kansallinen keskiarvo PUE-arvoille on 1,75. LBNL:n oman konesalin PUE-arvo on esimerkiksi kehittynyt vuoden 2009 arvosta 1,65 vuoden 2012 arvoon 1,47.

Tulosten petraaminen ja niissä pysyminen onkin laboratorion selvityksen mukaan jatkuvaa ja vaativaa kehitystyötä. (Lucido 2012.)

Konesalit ovat suuria energian kuluttajia. Jotkin suurimmat niistä voivat kuluttaa yhtä paljon kuin 100 - 200 tavallista toimistorakennusta. Konesalien laitteet tarvitsevat jatkuvasti paljon sekä sähköä että jäähdytystä. Laitekaapit ovat täynnä palvelimia, jotka ovat käynnissä vuorokauden ympäri joka päivä, ja ne voivat kuluttaa jopa 3000 W sähköä konesalin jokaista neliömetriä kohden. (Ireland, 2013.)

Kuvassa 10 Konesalien yleiskulutukset on jaettu pienempiin eri osa-alueisiin eli jäähdytys, atk-laitteet, varavirtalähteet, konesalin jäähdytyslaitteet, virranjakelulaitteet, kosteudensäätölaitteet ja muut rakennuksen infrastruktuuri. (Lucido 2012.)

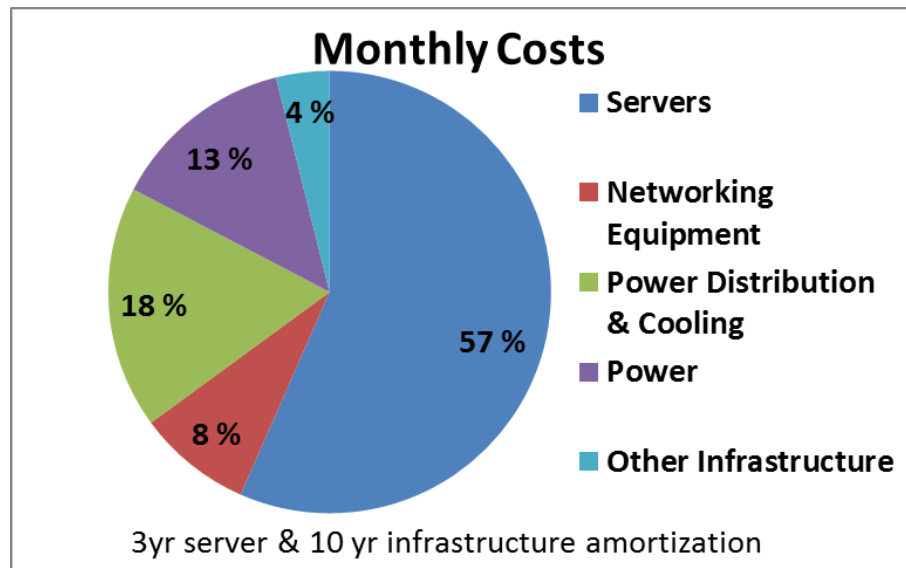


Kuva 10. Energiankulutus konesalissa laiteluokittain (Lucido 2012)

3.2 Elinkaarikustannukset

Laitteiden uusimiskulut vaikuttavat suuresti siihen, miten kustannukset jakautuvat konesalissa. Kuvassa 11 on laskettu kokonaiskustannusten jakautuminen siinä tapauksessa, että palvelinten elinkaari on kolme vuotta ja että infrastruktuurin (jäähdytys, verkkolaitteet, vara-voima, akusto) elinkaari on 10 vuotta. Se kuvaa, että servereiden kolme kertaa kymmenen vuoden ajassa tehty uusiminen on suurin yksittäinen hankintakustannus konesalin

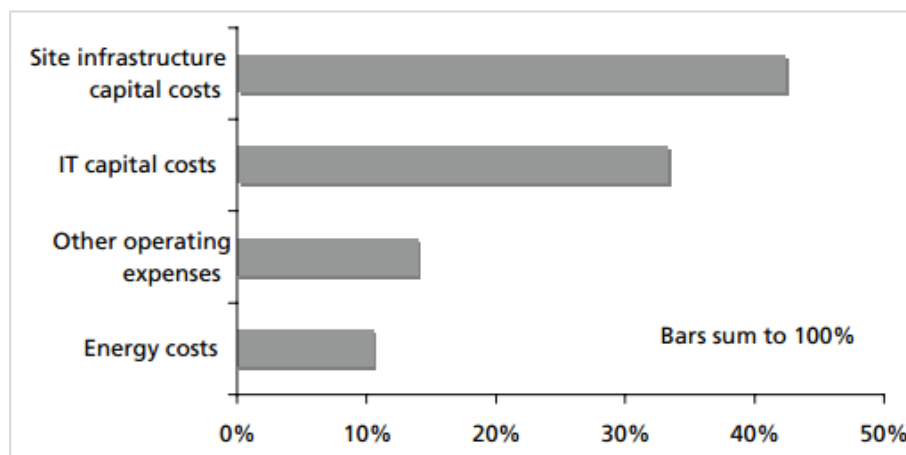
koko 10 vuoden elinkaarikierrossa. Se osoittaa myös sen, että jäähdytyksen, virranjake-
lun, verkkolaitteiden ja muun infrastruktuurin uusimiskustannukset (43%) yhteensä ovat
melkein saman suuruiset serverihankintojen kanssa (57%). (Hamilton 2010.)



Kuva 11. Konesalin kulujen jakaantuminen 10 vuoden elinkaarella (Hamilton 2010)

3.3 Kokonaiskustannukset.

Kuvassa 12 näkyvät kustannusten eri osa-alueet datacenterin kokonaiskustannuksista. Suurimpana näkyy rakennuksen, tontin ja infran pääomakustannukset, seuraavana atk-laitteiden pääomakustannukset, sitten muut käyttökulut, esim. palkat, ja sen jälkeen reilun 10 prosentin osuudella energiakulut. (Koomey 2007, 3).



Kuva 12. Eri osa-alueet datacenterin kokonaiskustannuksista. (Koomey 2007, 3)

3.4 Energiankulutuksen kasvu

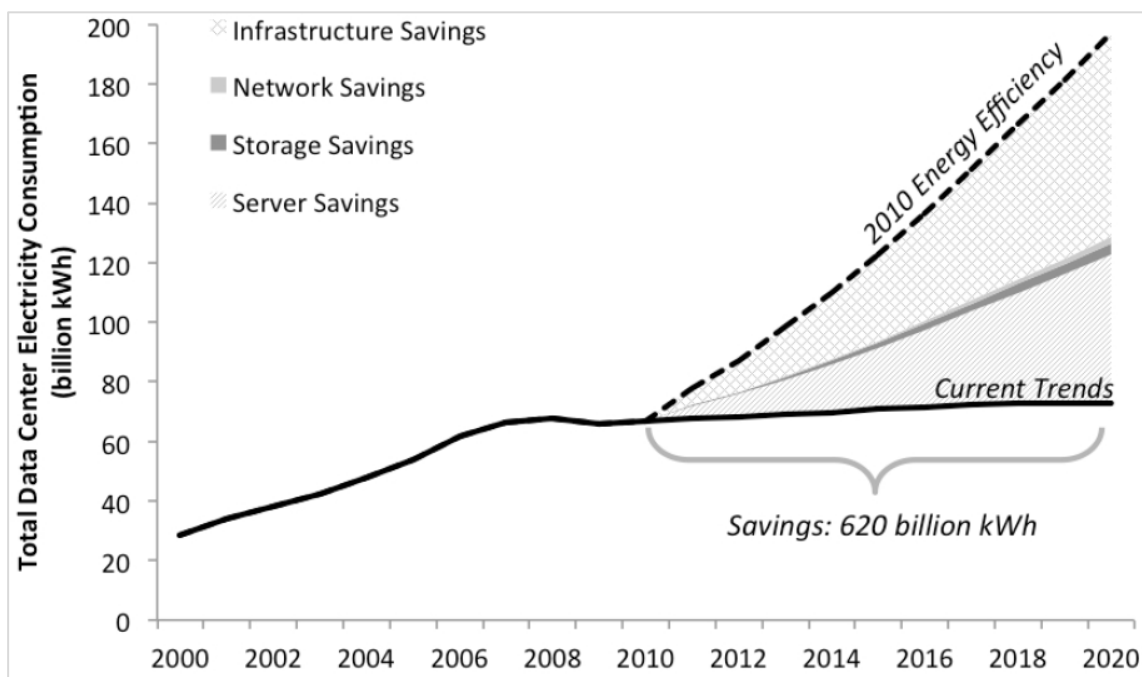
Lawrence Berkeley National Laboratory kertoo tutkimuksensa mukaan, että Yhdysvaltojen konesalit kuluttavat noin 70 miljardia kWh sähköä viimeisimpänä tutkittuna vuonna 2014. Tämä edustaa noin kahta prosenttia maan koko energiankulutuksesta. Se on saman verran kuin 6,4 miljoonaa tavallista yhdysvaltalaisista kotia kulutti tuona samana vuonna. Se myös tarkoittaa neljän prosentin nousua energiankulutuksessa verrattaessa sitä vuoteen 2010. Huomattava 24 prosentin kasvu tapahtui sitä edeltävinä vuosina 2005 – 2010, ja vuosituhaten alun viitenä vuonna 2000 - 2005 kulutus kasvoi melkein 90 prosenttia. (LBNL 2016b, 27; Sverdlik 2016.)

Yhdysvaltojen energiaministeriön johtaman tutkimuksen mukaan tehokkuuden parannukset ovat olleet erittäin suuressa osassa, kun on yritetty rajoittaa konesalien energiankulutuksen kasvutahtia. Jos energiatehokkuus olisi säilynyt vuoden 2010 tasolla eikä näitä parannuksia olisi tehty, saman työkuorman suorittaminen konesaleissa olisi vienyt 40 miljardia kWh enemmän sähköä kuin mitä todella kulutettiin vuonna 2014. (Sverdlik 2016.)

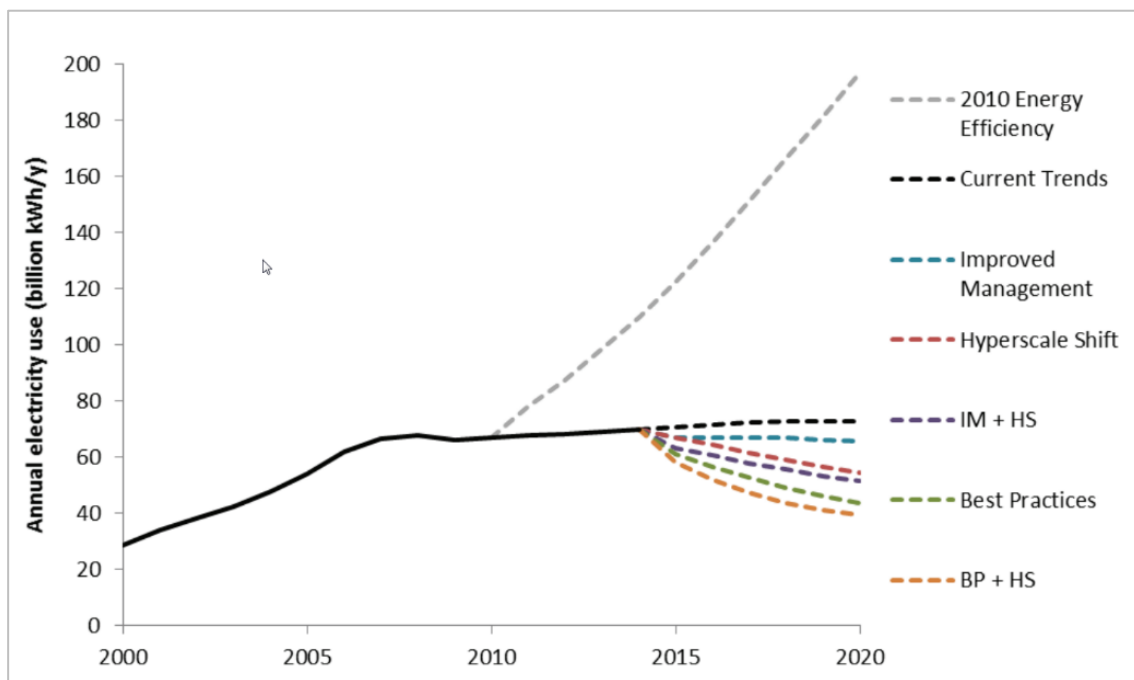
Tutkimuksessa myös ennustetaan, että energiatehokkuuden parannukset tulevat säästämään 620 miljardia kWh vuoden 2010 ja 2020 välillä. Tutkijat olettavat yhdysvaltalaisen konesalien kulutuksen kasvavan 4 prosenttia tämän hetken ja vuoden 2020 välillä ja kokonaiskulutuksen saavuttavan siten 73 miljardin kokonaiskulutuksen. (Sverdlik 2016.)

On arvioitu, että maailmassa tulee olemaan vuonna 2017 8,6 miljoonaa datakeskusta. Tämän jälkeen datakeskusten määrän kasvutahti tulee hiljennemään, mutta sen sijaan keskusten koot kasvavat. Kehityksen suunnan tälle antaa ”Megadatacentereiden” määrän lisääntyminen eli pienten datakeskusten määrä vähenee niiden sulautuessa näihin valtaisiin datakeskuksiin. Datakeskusten määrän kasvu ei enää ole niin suurta, mutta keskusten koko tulee kasvamaan jatkossa. (Smolaks 2014.)

Kuvat 13 ja 14 kertovat menneen kulutuksen sekä ennusteen vuodesta 2000 vuoteen 2020. Se myös kuvaa teoreettisesti sitä, kuinka nopeasti konesalien energiankulutus kasvaa, jos konesaliteollisuus ei tekisi mitään parannuksia tehokkuutensa parantamiseksi vuoden 2010 jälkeen. Ennusteissa on energiansäästökeinoina eriteltynä ”Improved management (IM), Hyperscale shift (HS), näiden yhdistelmä IM + HS, Best practices (BP) sekä kahden parhaan yhdistelmänä BP + HS. (LBNL 2016b, 27.)



Kuva 13. Ennuste vuoden 2010 energiatehokkuudella sekä nykyisillä säästökeinoilla yhdysvaltalaisen konesaleissa vuonna 2000-2020. (LBNL 2016b, 27)



Kuva 14. Nykytason ja parannetun mukaisilla energiatehokkuuskeinoilla käytetty energia kaikkien yhdysvaltalaisen konesalien osalta vuodesta 2000 vuoteen 2020. (LBNL 2016b, 27)

3.5 Pienissä konesaleissa huono energiatehokkuus

Seuraava suuri suuntaus tulevaisuudessa on pienien konesalien energiatehokkuuden parantaminen. On olemassa vielä todella paljon pieniä konesaleja, joiden perustamisesta pieniin ja keskisuuriin yrityksiin on aikaa vuosikymmen tai kauemmin. Niissä ajetaan vielä suuria määriä ohjelmistoja, palveluita ja tietokantoja, eivätkä nämä konesalit ole vielä kovinkaan energiatehokkaita. Suurimmat puutteet näissä ovat yleensä jäähdytyksessä. Vaihtoehtona on näiden tehokkuuden parantaminen tai siirtäminen suuriin datakeskuksiin. On kuitenkin edelleen monia toimijoita, jotka eivät vielä halua siirtää dataansa muiden ylläpitämille palvelimille. Esimerkiksi vuonna 2014 suurissa yhdysvaltalaisissa konesaleissa oli vasta kymmenesosa kaikesta maassa käytössä olevasta palvelinlaitteistosta. (Sverdlik 2016; Vargas 2014.)

Pienemmissä konesaleissa on yleensä huomioitu huonommin jäähdytyksen tuomat kustannukset. Ei ymmärretä kuinka paljon jäähdytyslaitteita säätämällä voi säästää energiaa. Pienten konesalien laitesijoittelu ei ole optimaalista, laitekaapit ovat siellä, minne ne ovat mahtuneet. Kylmän ja kuuman ilman sekoittuminen ovat tavallisia ongelmia. Henkilö tai tiimi, joka on vastuussa palveluista ja tiedon säilymisestä, käyttää jäähdytysenergiaa aivan liikaa varmuuden vuoksi, koska niin on aina tehty. On myös helppo tukeutua vanhaan sanontaan: "If it ain't broke, don't fix it", mikä suomeksi tarkoittaa: "Jos se ei ole rikki, älä korjaa sitä". He, jotka ovat vastuussa konesalin päivittäisestä toiminnasta ja luotettavuudesta, eivät välttämättä ole vastuussa sähkölaskuista, joten säästämiseen panostaminen on helppo unohtaa. (Sverdlik 2015.)

3.6 Tietoa yhdysvaltalaisista konesaleista

1. Suuri osa yhdysvaltalaisista eli noin 85 % talouksista omistaa tietokoneen, 70 %:lla on internetyhteys ja 75 % aikuisista käyttää sosiaalista mediaa.
2. Yhdysvalloissa on noin 3 milj. datakeskusta eli n. 1 keskus jokaista 100 ihmistä kohden.
3. Vuonna 2013 Yhdysvaltojen datakeskukset kuluttivat n. 100 miljardia kWh sähköä, joka on enemmän kuin 2 % koko maan energian kulutuksesta.
4. Jos kaikki Yhdysvaltojen datakeskukset olisivat 20 % tehokkaampia, voitaisiin säästää yli 20 miljardia kWh vuoteen 2020 mennessä. Säästettynä rahana tämä olisi n. 2 miljardia dollaria.

5. Suurin osa datakeskuksista on sijoitettu pk-yrityksiin. Ne ovat pieniä serverihuoneita tai komeroita näiden omistamissa rakennuksissa. Muut keskukset ovat sijoitettuna vuokratiiloihin, joissa on paljon datakeskusasiakkaita. Tämä on kasvava trendi datakeskusalalla. Suuret pilvipalveluntarjoajat ja kansalliset supertietokonekeskukset omistavat suurimmat keskukset, jotka ovat vain alle 10 % palvelinmarkkinoista.
6. Datakeskuksessa jokainen IT-laitteessa säästetty 1 kW voi tuottaa melkein 2 kW kokonaissäästön datakeskuksessa. Nämä muut säästöt voidaan saavuttaa ottamalla käyttöön parhaita käytäntöjä, kuten kuuma/kylmäkäytävien rakentamisen, ilmavirtausten säätämisen ja lämpötilan noston ASHRAE -yhdistyksen suosittelemissa rajoissa.
7. Datakeskukset päivitetään uusiin IT-laitteisiin 3-5 vuoden välein. Uudet IT-laitteet ovat energiatehokkaampia kuin vanhat. Kun yritykset päivittävät laitteitaan, he voivat myös tehdä parannuksia infraan. Yhdysvaltain energiaministeriö työskentelee yhteistyössä toimijoiden kanssa parantaakseen infrastruktuurin energiatehokkuutta. Tyypillisesti puolet tavallisen datakeskuksen sähköstä kuluu jäähdytykseen ja virransyöttöön.
8. Energiaministeriö arvioi, että huomattava osa liittovaltion hallinnon sähkön kulutuksesta eli noin 10 % tulee datakeskuksista.
9. Energiaministeriön säästökampanjaan osallistuneiden datakeskusten infrastruktuuria on päivitetty yli 9000 rakennuksessa ja näistä 2100 rakennuksen energiatehokkuus on parantunut vähintään 20 % ja 4500 rakennuksessa vähintään 10 %. Nämä keskukset säästävät keskimäärin 2,5 % aiemmasta kulutuksestaan eli vuosittain säästön kokonaismäärä on 300 miljoonaa dollaria. (Vargas 2014.)

4 Energiatehokkuus

Energiatehokkuudelle on monia määritelmiä riippuen toimintaympäristöstä, mutta yksinkertaisin on ehkä se, että kun ollaan energiatehokkaita, saadaan tehtyä mahdollisimman paljon mahdollisimman vähällä. Helppoimmalla ja halvimalla energiatehokkuuteen voi vaikuttaa muuttamalla omia energiankulutustottumuksia. Vähäisetkin päivittäisten rutinien muutokset voivat merkitä huomattavia muutoksia verrattuna pitkällä aikavälillä kuluettuun energianmäärään. Tällöin saadaan säästöjä kustannuksissa tai energiaa säästyy muihin tarkoituksiin. Uusien laitteiden ja koneiden hankinta on nähtävä myös tilaisuutena säästää energiaa, koska silloin on mahdollisuus valita energiatehokkaammat mallit. Laittehankintoja kilpailuttaessa kannattaa yhdeksi valintakriteeriksi asettaa sähkönkulutuksen pienuus. Remonttien yhteydessä on hyvä punnita myös kokonaisinfrastruktuurin vaikutus konesaliyrityksen energiankulutukseen. Tällä voi olla suuri merkitys kokonaiskulutukseen. Pelkkä rahan säästö on hyvä kannustin energiatehokkuuteen, mutta pienemmillä energiakuluilla on suora yhteys myös päästöihin ja tätä kautta ympäristön tilaan. Pienetkin muutokset energiankulutuksessa tuovat maailmanlaajuisella tasolla suuria kokonaisvaikutuksia ympäristöön ja kustannuksiin. Näin säästyneitä raha- ja energiavaroja voidaan varmasti käyttää hyödylliseen tarkoitukseen. Tätä toimintatapaa kannattaisi myös käyttää hyödyksi markkinoidessa omia palveluitaan. (Selamo 2014.)

4.1 Energiatehokkuudelle on tarvetta

Kun konesalien tarjoamien palveluiden kysyntä kasvaa, niin luonnollisesti myös konesaliyrittäjien tarjonta kasvaa. Tämä merkitsee siis, että konesalien lukumäärä ja niiden koko kasvavat ja sitä mukaa kasvaa tarvittavan energian määrä. Motivan keräämien tietojen mukaan konesalien energiankulutus kaksinkertaistui vuosien 2005 - 2010 aikana. (Motiva 2011a, 4.)

Miksi pitää olla energiatehokkaampi? Kaksi suurinta pulmaa, jotka IT-organisaatiot tänä päivänä kohtaavat, ovat konesalien suuri sähköntarve ja jäähdytys. Kasvavat yritykset tarvitsevat keinon hallita kustannuksia kuitenkin estämättä tulevaisuuden investointeja ja laajennuksia. Energiatehokkailla konesaleilla operaattorit voivat paremmin hallita kasvavaa tietojenkäsittelylaskentaa, verkkoja ja tallennustilan tarvetta, alentaa energiakuluja ja vähentää laitteiden elinkaaren kokonaiskustannuksia (Total Cost Of Ownership, TCO).

Kaikki nämä toimintatavat pitäisi ottaa päivittäiseen käyttöön, lisäksi olla markkinoilla kilpailukykyinen ja kyetä kohtaamaan tulevat liiketoiminnan kasvavat tarpeet. (The Green Grid 2007, 5.)

IT-toimialan hiilidioksidipäästöt ovat noin kaksi prosenttia maailman kasvihuonekaasujen päästöistä. Tämä on verrattavissa lentoliikenteen aiheuttamaan päästölukuihin. Lisäksi on tehty laskelmia, että tämä luku tulee nelinkertaistumaan kymmenessä vuodessa. Tämä aiheuttaa paljon haasteita alalle, koska samaan aikaan sähkön hinnalle on pitkällä aikavälillä kuitenkin olemassa nousupaineita. Tämä nostaa kustannuksia konesaliyrityksille. On laskettu, että yksittäisen palvelimen energiankulutuksen aiheuttama hinta on samaa luokkaa sen hankintahinnan kanssa. Riippuen konesalin iästä ja suunnittelusta energian osuus konesalin kustannuksista saattaa nousta jopa 75 prosenttiin. (Motiva 2011a, 4.)

4.2 Konesalien tehokkuuden selvittäminen

Energiakatselmuksilla ja -analyysillä voidaan löytää kohteita ja keinoja energiasäästöihin. Koska katselmuksia tekee asiantuntija, ne tehdään perusteellisesti ja yksityiskohtaisesti perehtyen koko infrastruktuuriin. Tällöin saadaan kattava ja luotettava selvitys, jolla voidaan luoda perusta jatkuvalle energian kulutuksen seurannalle energiatehokkuuden parantamiseksi. (Motiva 2011a, 20.)

Selvityksen jälkeen voi käydä ilmi, että joissakin tapauksissa voidaan saavuttaa säästöjä jopa ilman kustannuksia. Esimerkiksi säätämällä laitteistoja, kuten jäähdytyksen lämpötilaa nostamalla, ilmankierron esteitä poistamalla ja palvelinten virtualisoinnilla sekä niiden käytön optimoinnilla. Näin tehdyillä, päällisin puolin ehkä pieniltäkin näyttävilä muutoksilla voi olla mahdollista säästää merkittäviäkin summia. (Motiva 2011a 20.)

Konesalien tekniset ratkaisut voivat poiketa moneltakin osin tavallisista teollisuuden ja palvelutuotannon kohteista. On oltava siis ammattilainen, jotta voi nähdä kaikenlaisten erilaisten käytössä olevien totuttujen rutiinien, prosessien ja teknisten ratkaisujen taakse ja löydettävät niiden käytölle perusteet. Miksi nämä tietyt prosessit tai käytännöt ja laitteet ovat toiminnassa? Ovatko jotkin tekniikat auttamatta vanhentuneita? Voidaanko ne helposti korvata uusilla, ekotehokkaammilla ratkaisuilla? Vai olisiko sittenkin ekotehokkaampaa käyttää vanhentuneet laitteet suunnitellun elinkaarensa loppuun. Sitten koko konesaliin kohdistuvan laajan tai perusteellisen uudisrakentamisen yhteydessä on helpompaa ennakolta käydä läpi kaikki mahdolliset kehittämiskohteet ja tehdä kattava remontti ja uusia laitteet, kaapeloinnit, käytännöt ym. konesali-infra samalla kertaa. (Motiva 2011a, 21.)

Näiden selvitysten onnistumiseksi on ensisijaisen tärkeää, että konesalin käyttökäyttöhenkilöstö ja tilattu asiantuntija osallistuvat molemmat aktiivisesti vuoropuheluun ja katselmuksen tekemiseen. Kun molemmat osapuolet ovat mukana tiiviisti keskustelemalla ja tuomalla esiin puutteita sekä selvittämällä piileviä tarpeita sekä vaihtamalla näkökulmia, saadaan kaikki toimintaan vaikuttavat tekijät mukaan selvitykseen ja laskelmiin. (Motiva 2011a, 21.)

4.3 Konesaleissa suuret säästömahdollisuudet

Motivan koordinoiman tutkimuksen lopputulos arvioi, että Suomen konesalien vuotuista energiankulutusta voi leikata jopa 350 GWh. Suomessa tämä tarkoittaa, että energiansäästön tuoma rahallinen säästö olisi jopa 35 milj. € vuodessa. Motivan julkaisema Energiatehokas konesali -opas selvittää konesalien energiankulutuksen rakennetta ja esittää tavalliset säästön kohteet. (Motiva 2011b.)

Kun digitaalisen tiedon siirron, varmistamisen ja tallennuksen tarve lisääntyy, kasvaa tarve konesalien tuottamille palveluille myös voimakkaasti. Pelkästään Suomessa konesalien energiankulutus on kaksinkertaistunut vuosien 2005–2010 aikana. Tutkimuksen julkistamisvuonna 2010 konesalit kuluttivat arviolta 0,5–1,5 prosenttia kaikesta Suomessa käytetystä sähköstä. Joissakin vanhoissa konesaleissa energiansäästötoimilla tavoitettavat säästöt voivat olla merkittäviä ja sopivilla toimilla sähkönkulutuksen voi parhaissa tapauksissa laskea jopa puoleen. Motivan johtava asiantuntija Petri Nieminen toteaa, että suomalaisittain keskiarvossa, teholtaan 1 MW konesalissa, tämä voi tarkoittaa jopa puolen miljoonan euron vuosittaista säästöä ja todella isoissa konesaleissa kokonaissumma voi olla merkittävästi suurempi. (Motiva 2011b.)

Lämpötilan nostolla ja vapaajäähdytyksellä voidaan saada huomattavia säästöjä, koska eniten kehitettävää ja säästettävää löytyy varsinkin jäähdytyksestä. On yleistä, että konesalit ja niiden sisältämät atk-laitteet jäähdytetään usein liian kylmiksi, mikä kuluttaa energiaa turhaan. Motivan mukaan IT-laitteille toimitettava jäähdytysilma voi olla jopa 26-asteista ja itse konesalin lämpötilaa voidaan pitää vielä ylempänä. (Motiva 2011b)

Tällä hetkellä olemassa olevista jäähdytysmuodoista energiatehokkain on vapaajäähdytys, jossa hyödynnetään joko ilman, veden tai maaperän kylmyyttä. Tästä johtuen vapaajäähdytys sopii Suomeen olosuhteisiin mainiosti. Esimerkiksi Jyväskylässä on mitattu, että reilusti yli puolet vuoden tunneista alittaa 5 asteen lämpötilan, kun vastaavasti Keski-Euroopassa näin tällaisia lämpötiloja on ainoastaan kolmasosa vuoden tunneista. (Motiva 2011b.)

Konesalit synnyttävät toimiessaan paljon lämpöä, joka olisi hiilijalanjäljen pienentämiseksi ja säästöjen vuoksi kannattavaa ottaa talteen ja hyödyntää. Jos ylimääräisen lämmön hyötykäyttö on mahdollista ottaa käyttöön kohtuullisin toimenpitein ja ilman mittavia investointeja, se nostaisi konesalin energiatehokkuutta merkittävästi ja vähentäisi sillä tavalla muun lämmöntuotannon tarvetta. (Motiva 2011b.)

Miksi sitten kaikki eivät hyödynnä hukkalämpöä esimerkiksi kaukolämmön tuottamisessa? Toimitusjohtaja Kimmo Koski CSC:ltä sanoo Yle-uutisten haastattelussa, että hukkalämmön hyödyntämisessä isoimpana kysymyksenä ja esteenä on juuri sijainti verrattuna kaukolämpöverkkoon, sillä kaukolämpöön olisi yksinkertaisempaa liittyä, jos se olisi lähettyvillä. Osa konesaleista esim. CSC:n konesali Kajaanissa on keskustan ulkopuolella, vanhassa paperitehtaassa. Koski toteaaakin, että tätä nykyä se ei tule maksamaan vaivaa, sillä sen toteutus tulisi maksamaan paljon enemmän, kuin mitä siitä olisi todellisuudessa hyötyä. Koski kuitenkin jatkaa, että kartoituksia hukkalämmön talteenotosta on laadittu. Jos datakeskus pystytetään vanhaan, käytöstä poistettuun rakennukseen, kuten entiseen paperitehtaaseen, ei ole yhtä ongelmallista ottaa käyttöön hukkalämmön talteenottoon edellyttämää teknologiaa. Koski toteaaakin lopuksi, että aivan uusissa, tämä asia etukäteen suunnitelluissa rakennuksissa, hukkalämmön hyötykäyttö on yksinkertaisempi huomioida. (Yle-uutiset 2016.)

Ovatko suorat kustannussäästöt ainoa syy tehdä selvitys mahdollisista energian säästöistä? Yleensä pienempi energiankulutus näkyykin suoraan pienempinä kustannuksina ja sillä on paikallisesti ja taloudellisesti suuri merkitys juuri kyseiselle yritykselle ja siten suoraan sen asiakkaille. Voi myös olla, että selvityksen myötä yrityksen tai instituution muukin toiminta tehostuu siinä selvitystyön ohella. (Motiva 2011a, 20.)

Energiatehokkuuden parantumisella on kuitenkin myös merkitystä kestävä kehityksen eli yhteisesti ja kansainvälisesti sovittujen ympäristönsuojelutoimien ja hiilipäästöjen vähennystavoitteiden saavuttamiseksi. Jos näihin tavoitteisiin pääsee, ja sen pystyy luotettavalla tavalla todistamaan, niin tätä ”hyvettä” olisi mahdollista käyttää menestyksekkäästi myös energiatehokkaita menetelmiä käyttävän yrityksen markkinointiviestinnässä. Koska kuluttajien ja yritysten suhtautumistavat vihreisiin arvoihin ovat koko ajan kehittymässä ekologisempaan suuntaan, on näillä IT-yritysten valinnoilla merkitystä yritysasiakkaiden ja kuluttajien ostokäyttäytymiseen. On todennäköistä, että ensimmäisenä ja eturivissä ekologisia teknologioita käyttävät yritykset ovat myös etulyöntiasemassa muihin nähden. (Ström-Lepola 2013, 7, 14, 19.)

5 Energiatehokkuuden mittaaminen

Jotta tehokkuutta voitaisiin kehittää, sitä pitää pystyä mittamaan. Reaaliaikainen energiamittaus tuo esille pulmatilanteet tai kehittyvät ongelmat ennen kuin niistä tulee oikeita ongelmia. Energiankulutuksen kasvu voi johtua esimerkiksi jäähdytyksen tarpeen kasvusta. Pitää siis selvittää mistä se johtuu. Tai jos esimerkiksi palvelintilan lämpötila yllättävästi nousee, voidaan olettaa, että joko lämmön tuotto on kasvanut eikä jäähdytyksen termostaatti ole ajan tasalla tai jäähdytyksen teho on muuten alentunut. Nämä ovat ongelmia, joten niihin on hyvä tarttua aikailematta. Mittaustyö antaa myös selkeän raportin siitä, onko nykytilanne hallinnassa tai onko jokin muutostyö onnistunut vai pitääkö sitä vielä säätää. (Motiva 2011a, 17, 20.)

Tarkka suunnittelu on hyvä alku, mutta se ei vielä riitä energiatehokkuuden takaamiseksi. Kehitystyö edellyttää jatkuvaa ja järjestelmällistä mittaamista, joka voi parhaimmillaan olla jopa reaaliaikaista toimintojen säätämistä mittaustulosten perusteella. Energiatehokkuuden mittaamiseksi on kehitetty paljon mittareita, joita kannattaa käyttää hyödyksi konesalien toimintojen parantamisessa. (Motiva 2010.)

Arvostettu fyysikko ja matemaatikko William Thomsonin (tunnettu myös nimellä lordi Kelvin) kerrotaan sanoneen: ”If you cannot measure it, you cannot improve it”. Suomeksi se tarkoittaa suurin piirtein: ”Jos sitä ei voi mitata, sitä ei voi kehittää”. Tästä voi tehdä johtopäätöksen, että tarvitaan tarkoituksenmukaisia mittareita, joilla energiankulutuksen hyötysuhdetta voidaan mitata ja sitä kautta päästä kehittämään energia- ja ekotehokkuutta. (Thomson 1889, 73-74; Liite 1, 1-3).

5.1 PUE-arvo

Eräs energiatehokkuuden mittari on PUE. Lyhenne tulee sanoista Power Usage Effectiveness. Ensimmäisestä kehitetystä PUE-arvon kaavasta on myöhemmin kehitetty useita eri kategorian PUE-arvon kaltaisia mittareita. Näissä mennään kategoria kerrallaan yhä tarkempiin mittauksiin, joissa otetaan enemmän yksityiskohtia huomioon konesalin kulutuksen mittauksissa. (Motiva 2011a, 4, 17–19; The Green Grid 2007, 6-7.)

PUE-arvolla mitataan energiatehokkuutta. Perustason PUE-arvo kertoo konesalin ja sen koko talotekniikan energiankulutuksen suhteen konesalin pelkkien atk-laitteiden energiankulutukseen. Koko kulutukseen lasketaan mukaan jäähdytys, valaistus ja sekä muun

talotekniikan energiankulutus ja se jaetaan atk-laitteiden kulutuksella, jolloin kaava on tämä:

$$\text{Kokonaisteho} / \text{Palvelimien teho} = \text{PUE}$$

Esimerkiksi jos kokonaistehon kulutus konesalissa on 10 kW ja atk-laitteet kuluttavat siitä 8 kW, laskutoimitus tuottaa arvoksi:

$$10 \text{ kW} / 8 \text{ kW} = 1,25.$$

Tämä luku on keskiarvo konesalien PUE-arvoissa. Mitä lähempänä arvo on ykköstä, niin sitä energiatehokkaampi on konesali, koska tällöin sitä suurempi osa energiasta menee itse asiaan eli konesalin atk-laitteisiin. Jos PUE-arvo olisi tasan 1, niin kaikki kulutettu sähkö menisi atk-laitteisiin. Ainakaan nykyteknologialla sitä ei vielä tavoiteta, mutta hyvin lähelle tätä on jo päästy. Esimerkiksi Google ilmoittaa konesaliensa vuoden PUE-keskiarvon olevan jo 1,12. (Motiva 2011a, 4, 17–19; The Green Grid 2007, 6-7; Google 2017.)

Nykyaikaisen kohtuullisen energiatehokkaan konesalin PUE-arvo on siis lähellä 1,2 ja uusimmat menevät jopa sen alle, kun taas vanhentuneissa konesaleissa arvo saattaa olla jopa lähellä 2 tai yli. Siitä voidaan päätellä, että jos PUE-arvo on huono, niin kokonaiskustannukset ovat turhan korkeat, koska kulut nousevat energiatuhlauksen seurauksena ylimääräisen kalliin sähkölaskun muodossa. (Motiva 2011a, 4, 17–19; The Green Grid 2007, 6-7.)

5.2 ERE-arvo

Konesalien energiatehokkuus on tärkeä tekijä atk-laitteiden kokonaiskulutuksen parantamisessa. Yhä useammassa uudessa konesalissa lämpöenergiaa hyödynnetään rakennuksen muissa osissa suotuisin tuloksin. Näiltä toiminnoilta on aiemmin puuttunut mittari, jolla tätä energian hyötykäyttöä voidaan jäljittää ja verrata aiempaan. PUE-arvo on perusmittari, jolla mitataan konesalin energiatehokkuutta, mutta se ei huomioi ylimääräisen lämmön uusiokäyttöä. Tätä käyttöä varten The Green Grid -yhdistys on määritellyt uuden mittarin: Energy Reuse Effectiveness (ERE) eli Energian uudelleenkäytön tehokkuus. ERE-arvo on eräs kehitysmuoto alkuperäisestä PUE-arvosta. ERE-arvossa on otettu huomioon konesalissa muodostuvan lämmön hyödyntäminen. Kaavaan on lisätty muuttuja, joka vähentää atk-laitteiston kuluttaman energian osuutta hyödynnetyn lämpöenergian osuuden verran. (The Green Grid 2010, 2, 8.)

Koko konesalin energiankulutuksesta vähennetään lämmön hyödyntäminen ja se jaetaan atk-laitteiden kulutuksella tällä kaavalla:

$$(\text{Kokonaisteho} - \text{Lämmön hyötykäyttö}) / \text{Palvelimien teho} = \text{ERE}$$

Esimerkki 1: Jos kokonaistehon kulutus konesalissa on 10 kW, atk-laitteet kuluttavat siitä 8 kW ja lämpöä hyödynnetään 1 kW verran, laskutoimitus tuottaa arvoksi:

$$(10 \text{ kW} - 1 \text{ kW}) / 8 \text{ kW} = 1,125$$

Jos lämmön hyötykäyttö on tarpeeksi isoa, ERE-arvo voi olla myös alle yhden, jota taas PUE-arvo ei voi olla.

Esimerkki 2: Jos kokonaistehon kulutus konesalissa on 10 kW, atk-laitteet kuluttavat siitä 8 kW ja lämpöä hyödynnetään 3 kW verran, laskutoimitus tuottaa arvoksi:

$$(10 \text{ kW} - 3 \text{ kW}) / 8 \text{ kW} = 0,875$$

(The Green Grid 2010, 8.)

5.3 DCIE

Data Center Infrastructure Efficiency. Arvo mittaa konesalin energiatehokkuutta. Laskennassa käytetään samoja lähtöarvoja kuin PUE-arvon laskemisessa. Se esitetään prosenttilukuna ja se on käänteinen arvo verrattuna PUE-arvoon. Tarkoituksena on esittää luku PUE-arvoa ymmärrettävämpänä.

$$\text{Palvelimien teho} / \text{Kokonaisteho} * 100 \% = \text{DCIE}$$

Esimerkki 1: Jos kokonaistehon kulutus konesalissa on 10 kW ja atk-laitteet kuluttavat siitä 8 kW, laskutoimitus tuottaa arvon, joka kerrotaan suhdeluvulla 100 %:

$$8 \text{ kW} / 10 \text{ kW} * 100 \% = 80 \%$$

Eli laskennan kohteena olevan konesalin hyötysuhde tai energiatehokkuus on siis 80 prosenttia täydestä 100 mahdollisesta. (The Green Grid 2007, 6-7.)

6 Energiatehokkuuden keinoja ja apuvälineitä

Energiatehokkuuden kehittämiseksi on useita keinoja, jotkin liittyvät rakenteisiin ja laitteisiin, jotkin taas prosessien hallintaan, laitehallintaan ja toimintatapoihin. Seuraavassa esitellään muutamia näistä keinoista ilman tärkeysjärjestystä.

6.1 Data Center Infrastructure Management

Data Center Infrastructure Management eli DCIM tarkoittaa vapaasti suomennettuna konesalin eri järjestelmien hallinnointia, monitorointia ja dokumentointia. Konesalin järjestelmillä tarkoitetaan tässä mm. palvelimia, levyjärjestelmiä, verkon aktiivilaitteita, sähkönsyöttöjärjestelmiä ja jäähdytyslaitteita sekä UPS- varavirtajärjestelmiä. (Geng 2015, 601; Pakarinen 2014, 1; Wikipedia 2017b.)

Itse DCIM-järjestelmä voi yksipuolisimmillaan koostua yksinkertaisesta dokumentointiohjelmistosta tai tehdä lisäksi suppeaa monitorointia. Toisaalta se voi myös suorittaa monitorointia laajalti ja koostua erilaisista laitteista. Siihen voi kuulua esimerkiksi verkkolaitteita ja antureita, esimerkkinä tästä mm. etäluettavat lämpö- ja kosteusanturit, jotka hälyttävät raja-arvojen ylityksistä. Tämä monipuolisuus merkitsee myös sitä, että DCIM-järjestelmiä on monen laatuista ja hintaisia. Valikoima lähtee ilmaisista avoimen lähdekoodin yksinkertaisista laiterekistereistä hyvin hintaviin ja monipuolisiin ohjelmistoihin sekä kokonaisvaltaisiin järjestelmiin. (Geng 2015, 601; Pakarinen 2014, 1; Wikipedia 2017b.)

Yksinkertaisimmat järjestelmät monitoroivat ja tulkitsevat laitteiden lähettämiä SNMP-protokollan tietoja. Suuri osa konesalien laitteista osaa muodostaa tämän protokollan dataa ja lähettää niitä pyynnöstä monitorointiohjelmille. Monipuoliset järjestelmät tulkitsevat myös IPMI -protokollaa, jota käytetään lähettämään ja tulkitsemaan palvelinten ja levyjärjestelmien tietoja. On olemassa muitakin eri laitejärjestelmien väliseen kommunikointiin käytettyjä protokollia, mutta niiden merkitys käytännössä riippuu sekä laitteesta että käytössä olevasta DCIM-järjestelmästä. Laajimmat järjestelmät laskevat, dokumentoivat ja suunnittelevat yhteensopivuuksia konesalin eri komponenteille eli tekevät mallinnusympäristöjä. Mallinnuksella on tarkoitus kuvata kaikki konesalista saatavat tiedot mahdollisimman todenmukaisina. DCIM:llä kerätään näitä anturitietoja, ne analysoidaan ja visu-

alisoidaan, jotta niiden perusteella voidaan tehdä päätelmiä esim. virransyötön riittävydestä ja jäähdytyksen tehokkuudesta. (Geng 2014, 607; Nevalainen 2011, 24–27; Pakarinen 2014, 6; Sunbird 2017.)

On ennustettu, että DCIM-järjestelmien markkinat tulevat kasvamaan vuodesta 2016 vuoteen 2020 mennessä 731,5 miljoonasta dollarista 2,81 miljardiin dollariin, jotkut ennustavat jopa 7,5 miljardiin dollariin. Kasvun voi arvella johtuvan siitä, että IT-päättäjät ovat huomanneet mahdollisuuden säästää energia- ja toimintakustannuksissa. Tämä onnistuu parantamalla DCIM-järjestelmien tarjoamien tietojen avulla konesalien fyysisen infrastruktuurin järjestelyitä, ja joissakin tapauksissa vain kohtuullisen pienillä muutoksilla järjestelmiin ja prosesseihin. (Nielsen & Bouley 2012, 2; Boyle 2016.)

6.2 DCIM-järjestelmän hyödyt

Miksi käyttää DCIM-järjestelmää? DCIM hyödyt tulevat esille monissa asioissa. Se auttaa mm. hahmottamaan yksinkertaisessa muodossa, taukoamatta monista eri lähteistä kertyviä, monitoroituja tietoja. Tärkeä etu on myös, että se auttaa automatisoimaan rutiineja ja tekee monimutkaisen konesalin ylläpidosta ja käytön suunnittelusta vähemmän virhealtista. Eri DCIM-järjestelmät eroavat käytettävyydeltään monilla tavoin, mutta kaikkien järjestelmien kanssa on olemassa muutamia yhteneväisyyksiä. DCIM-järjestelmät tarjoavat suoraan käytettävissä olevaa dataa konesalin hallintaa varten. Tätä toimintaa varten DCIM-järjestelmät tarvitsevat mittariston kerätyn datan tulkintaa varten. On myös huomattava, että DCIM ei ole yksittäinen ratkaisu kaikkeen, vaan se on osa kokonaisvaltaista konesalin hallintastrategiaa. (Cole 2012, 4; Sunbird 2017.)

6.2.1 Dokumentointi

DCIM-järjestelmät helpottavat dokumentointia ja niiden ylläpitoa. Pilvipalveluiden nopea ja määrällisesti suuri kasvu on aiheuttanut sekä konesalien että erityisesti niissä olevien laitteiden määrässä huomattavaa kasvua. Ylläpidettävien laitemäärien kasvaminen voi aiheuttaa ongelmia dokumentoinnissa. Helppo tapa dokumentoida konesalien laitteita on kirjata tiedot pelkkään Excel-taulukkoon. Tämä voikin toimia pienessä yhden henkilön ylläpitämässä konesalissa, jos ylläpitäjä ututterasti päivittää tiedostojaan. Mutta suuremmassa, usean ylläpitäjän ympäristössä tällaisen menetelmän tuntuvin ongelma on sen

versionhallinta. Ylläpitäjien tekemät muutokset tiedostoihin saattavat saada aikaan tilanteita, joissa uusin tieto uudesta laitteesta tai tärkeästä konfiguraatiosta saattaa olla hetken aikaa ”näkyttömässä”. Tällöin on vaarana, että on olemassa kaksi versiota samasta tiedosta eikä uusin tieto tavoita sitä tarvitsevaa. Muun muassa tämän pulman ratkaisemiseksi on kehitetty DCIM -järjestelmiä. (Pakarinen 2014, 2; Sunbird.)

Eräs tärkeä syy DCIM-järjestelmän käyttöön on se, että se auttaa ylläpitoa näkemään, ymmärtämään, hallinnoimaan ja optimoimaan lukuisia ja monimutkaisia riippuvuussuhteita, jotka pyörittävät nykyaikaista datakeskusta. Ylläpitohenkilökunta tarvitsee kokonaisvaltaisen käsityksen koko IT-infrastruktuurista ja on tärkeää saada käytönaikana informaatiota, jolla on heti merkitystä ja on otettavissa välittömästi omaan käyttöön. (iTracs.)

6.2.2 Ajankäytön ja energian säästö sekä liiketoiminnan uudet mahdollisuudet

Yksi tärkeä syy DCIM-järjestelmien hyödyntämiseen on se, että ne auttavat alentamaan kustannuksia. Ne tarjoavat tarkkaa ja heti käytettävissä olevaa tietoa konesalin kuormituksesta, käytettävyydestä ja saatavuudesta. Järjestelmällä on myös mahdollista ottaa suoraan käyttöön ns. ”Best Practices” käytäntöjä tai työstää niistä omalle konesalille vielä paremmin sopivia rutiineja. DCIM yhdistää ja koordinoi erillään olevia resursseja yhden näkymän alla hallittaviksi. DCIM:n avulla suuresta raakadatamäärästä voidaan kerätä asiantuntijalle tietotaitoa, jota taas on mahdollista muuntaa suoraan hyödyksi liiketoimintaan. DCIM antaa parhaimmillaan liikkeenjohdolle tilaisuuden ottaa käyttöön uusia liiketoimintaa edistäviä käytäntöjä. (Geng 2015, 603–604; Sunbird 2017.)

6.2.3 Turvallisuus

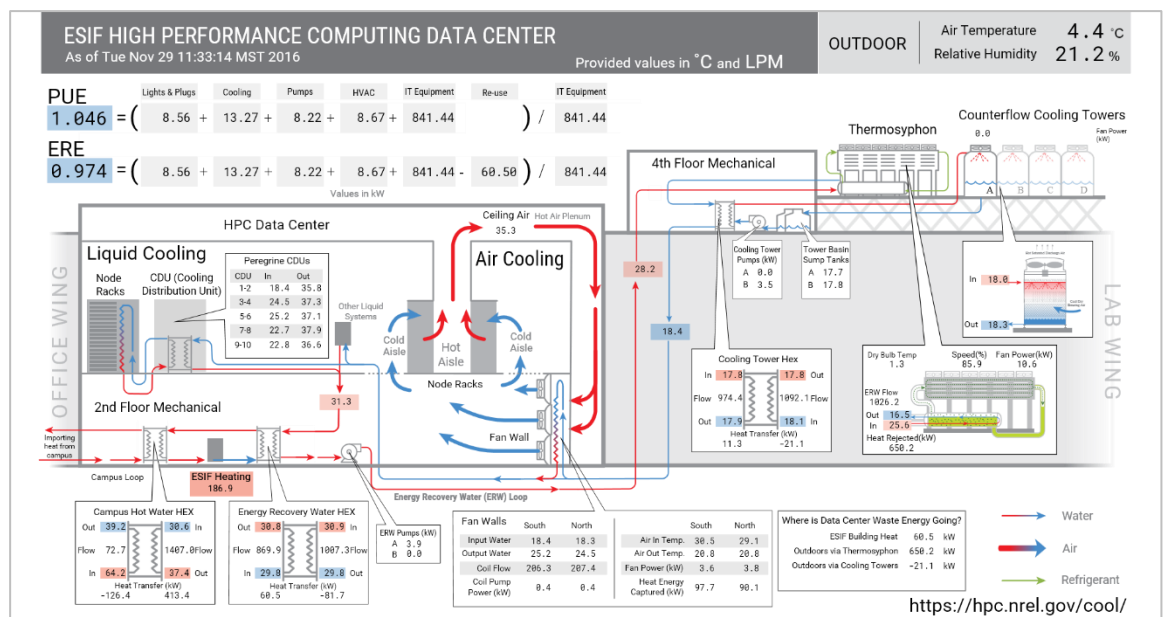
DCIM-järjestelmän käyttö luo turvallisuutta. Resurssien saatavuuden ja kapasiteetin riittävyyden suunnittelu on yksi tärkeimmistä DCIM:llä saatavista etuja. Paremmalla kapasiteettien, kuten tilat, sähkö ja jäähdytys, riittävyyden ennustettavuudella, saadaan aikaan parempi kuormituksen jakaminen ja laitteiden elinkaariajattelun hyödyntäminen. Se myös lisää reagointiaikaa mahdollisen resurssipulan hallintaan. Automatisoinnilla DCIM antaa mahdollisuuden antureiden tarjoamien arvojen ja ennalta asetettujen hälytysrajojen avulla vastata yllättäviin kuormituksen lisäyksiin sekä laitteiden vikaantumisiin. (Geng 2014, 602–603.)

6.3 DCIM-järjestelmän toiminnallisuudet

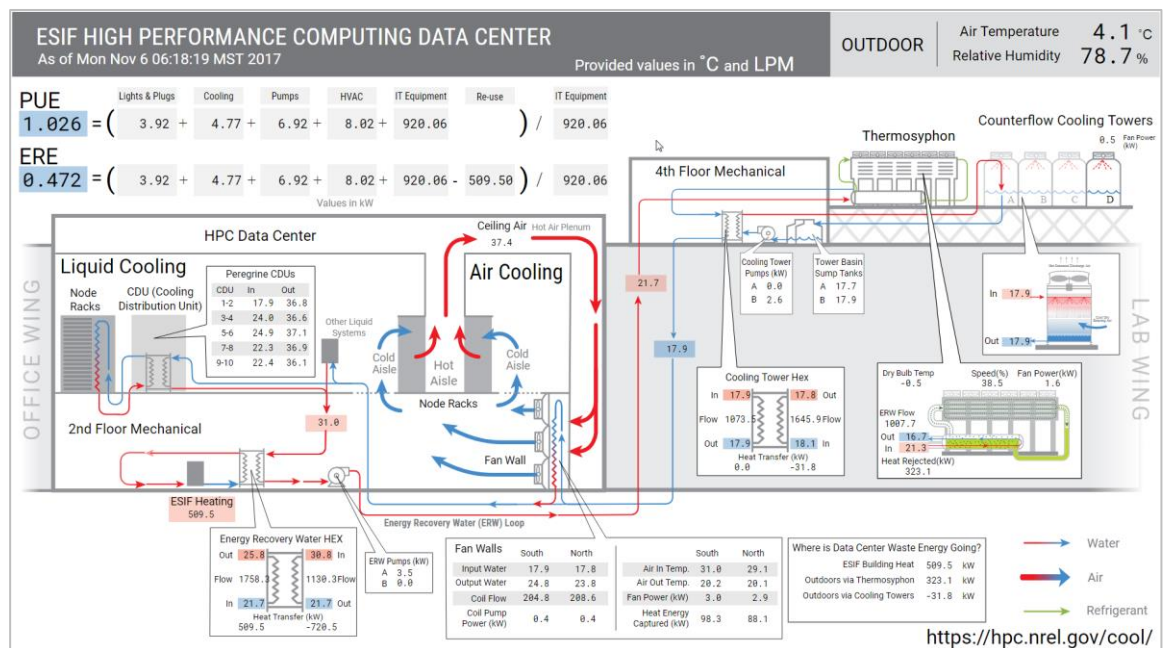
DCIM-järjestelmää voi käyttää muuhunkin kuin dokumenttien luomiseen. DCIM-järjestelmän hallintanäkymä auttaa hahmottamaan konesalin yleistilaa ylläpidon aikana ja myös uuden hankinnan suunnitteluvaiheessa. Konesalin pohjapiirrokseen luotuun yleisnäkymään voidaan sijoittaa esimerkiksi laitekaapit, jäähdytyksen ja virroituksen viemä tila, kylmä- ja kuumakäytävät, Hot/Cold spotit, vapaana/käytössä oleva tila, kulkua varten avoinna pidettävät tilat sekä muu tieto konesalista. Tähän voi yleensä yhdistää laitekaappien väliset verkkoyhteydet ja verkkolaitteiden verkkoliikenteen määrän. (Geng 2014, 612; Pakarinen 2014, 4.)

Tavallisesti DCIM:n ylläpito hoidetaan selaimen kautta, joka voi olla muokattavissa omien tarpeiden mukaiseksi. Joissakin järjestelmissä pohjapiirrokseen voi laittaa myös antureiden mittaus- ja hälytysarvot näkyviksi, esim. lämpötilan, kosteuden ja jäähdytyksen tehon. Jos DCIM antaa mahdollisuuden 3D-mallintamiseen, konesalinäkymän pystyy hahmottamaan uudella tavalla. (Geng 2014, 10, 611; Pakarinen 2014, 5.)

Kuvissa 15 ja 16 on esimerkkinä DCIM-järjestelmän tuottamat virtuaaliset kuvat U. S. National Renewable Energy Laboratory (NREL) nettisivulta (<http://hpc.nrel.gov/COOL/>) heidän energiatehokkaan ESIF-rakennuksen konesalista. Siinä nähdään erilaisten mittalaitteiden ja antureiden tuottamaa tietoa ja arvoja reaaliaikaisena näkymänä. Samalla voidaan nähdä, kuinka energiatehokkuus on kehittynyt vuoden aikana.



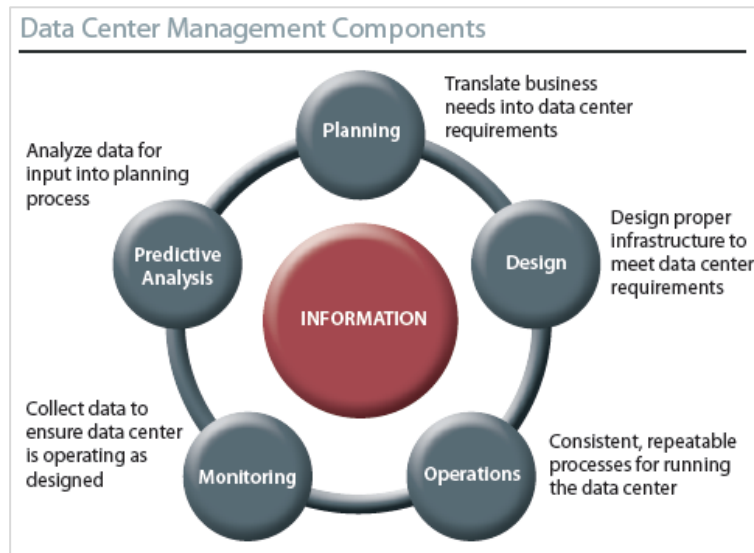
Kuva 15. DCIM:n kuva 29.11.2016 klo 11:33 ESIF HPC-datacenteristä (NREL n.d.)



Kuva 16. DCIM:n kuva 6.11.2017 klo 6:18 ESIF HPC-datacenteristä (NREL n.d.)

Useat DCIM-järjestelmät ovat suunniteltu helposti skaalautuviksi eli laajennettaviksi. Pienenä aloittava konesali ei välttämättä heti hyödy järeästä DCIM:stä, mutta toiminnan laajentuessa ei myöskään ole tarvetta heti vaihtaa järjestelmää. Sekin säästää vaivaa ja aikaa. Laajennettaessa lisäkaappien, UPS:ien tai kaapeloinnin ja verkkolaitteiden lisääminen järjestelmään ei enää ole suuren lisätyön takana. Myös mahdollisesti rakennettavan lisätilan merkintä samaan pohjapiirrokseen onnistuu mutkattomasti. (Pakarinen 2014, 8.)

DCIM-järjestelmässä on yleensä useita erilaisia toiminnallisuuksia. Näillä voidaan kerätä tietoa siitä miten tietyt ratkaisut vaikuttavat toimintaan. Vaikutuksia voidaan arvioida useammilla vaihtoehdoilla, jolloin suurin osa virheellisistä päätöksistä voidaan kuopata etukäteen. Kuvassa 17 DCIM-järjestelmän eri osa-alueet, joita käydään läpi seuraavaksi. (Geng 2014, 606.)

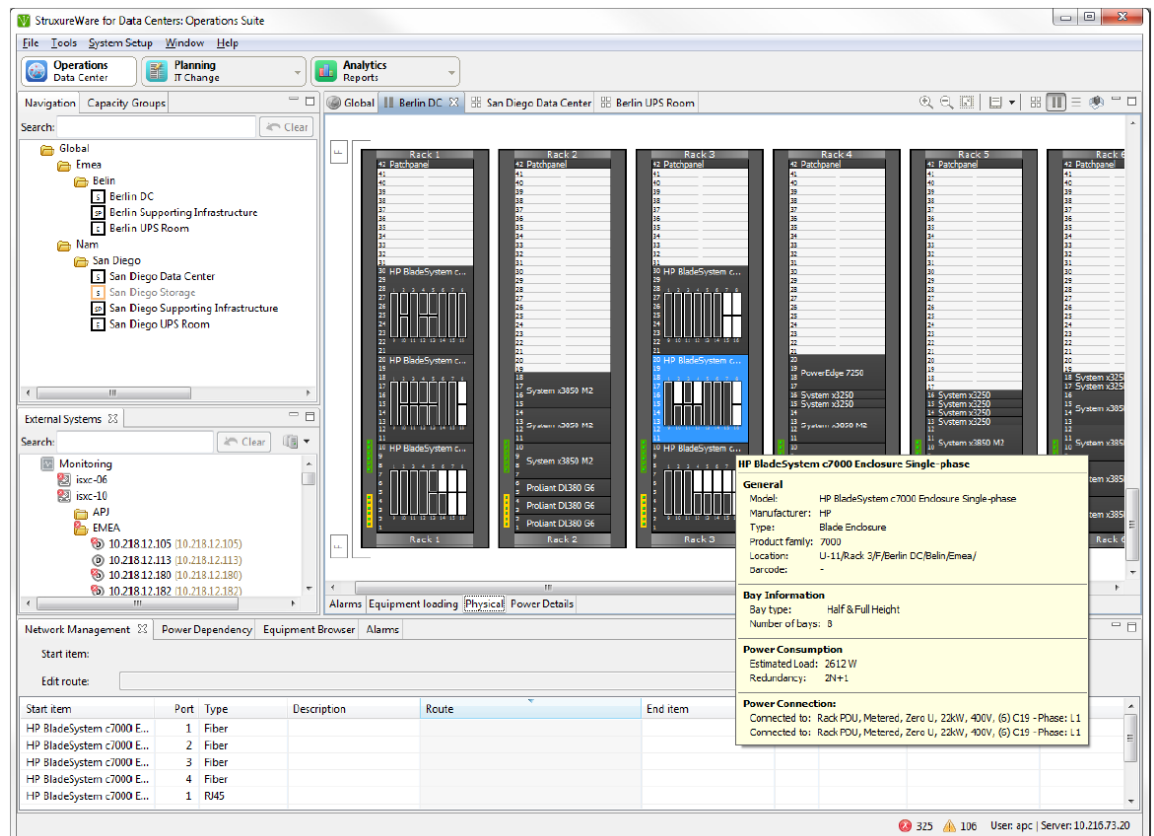


Kuva 17. DCIM-järjestelmän toimintanäkymät (Cole 2012, 5)

6.3.1 Mallinnusten luominen - Design phase

Mallinnusten luomisenäkymässä DCIM tarjoaa informaatiota toimintaympäristön luomista varten. Sähkö-, jäähdytys- ja verkkolaitteista saatu data helpottaa konesalien kaappien sisällön suunnittelua. Ilman tätä tietoa ylläpitäjien täytyy tehdä suunnitelmat enemmän tai vähemmän pohjautuen joko kokemukseen tai arvaukseen. Tämä voi saada aikaan joko resurssien hukkaamista tai ylikuormittumisvaaran ja mahdollisuuden palvelun sammumiseen. Kuvassa 18 näkyy mallin luomisenäkymä, jossa nähdään, kuinka paljon laitteita voidaan asentaa laitekaappeihin. (Cole 2012, 5.)

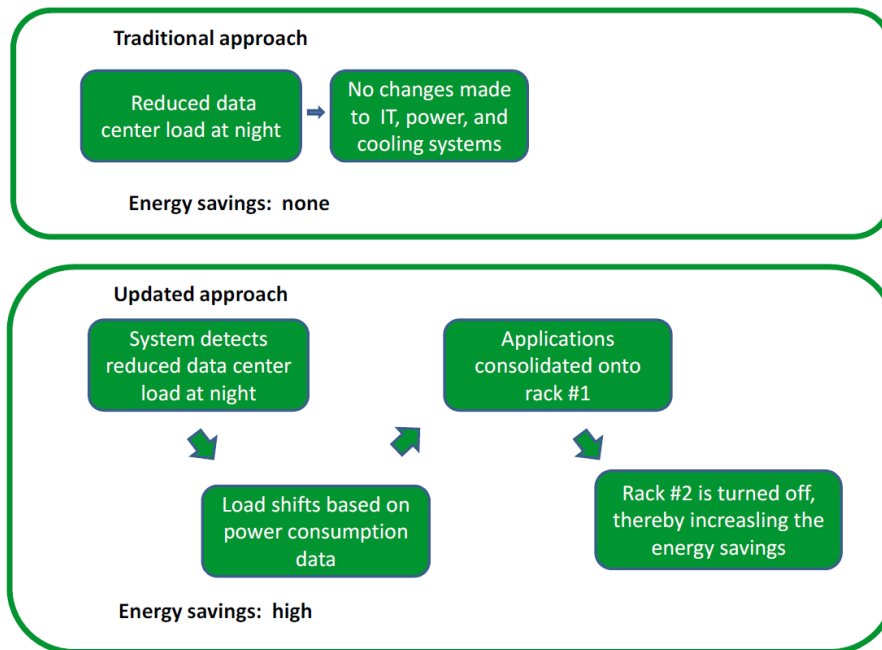
Konesalin pohjapiirroskuvaan voi merkitä laitekaappien sijainnin ja niiden sisällöt tarkasti, aina laitteen tarkkuudelle saakka. Samoin kaappien vapaa tila sekä esimerkiksi kylmäkäytävien sijainti auttaa hahmottamaan konesalia. Riippuen DCIM:stä laitetietoihin voi merkitä hyvin moninaisesti teknisiä tietoja, kuten esimerkiksi laitteen räkkikorkeus, porttien lukumäärä ja tehonkulutus. Lisäksi näihin voi lisätä myös muita tietoja, jotka voivat olla hyödyllisiä laitteiden vikaantuessa kuten osto-, asennus- ja takuuajat. Hyödyllinen tieto on myös verkkolaitteiden portti- ja kaapelitiedot, ristikytkentäpaneelit sekä verkkoyhteydet konesalin sisällä. Näihin tietoihin voi myös tehdä tietokantahakuja, kuten esimerkiksi kuinka monta palvelinta tai levyä on jo kolme vuotta vanhoja. Tämä auttaa suunnittelemaan laitteiston uusimisaikatauluja. (Pakarinen 2014, 5.)



Kuva 18. Konesalin eri kaappimallien luominen Schneider Electric StruxureWare Operations DCIM-järjestelmällä. (Nielsen ym. 2012, 7)

6.3.2 Toimintanäkymä - Operations phase

Operointi- eli toimintanäkymässä DCIM-järjestelmä auttaa valvomaan perusprosesseja konesalien toiminnassa. Nämä johdonmukaiset ja toistettavissa olevat prosessit vähentävät käyttäjien virheitä, mitkä voivat karsia jopa 80 % kaikista konesalien toimintakatkoksista. Kuvassa 19 näkyy kuinka DCIM:llä voi mukauttaa konesalin toimintaa mm. vuorokauden ajan mukaan. (Cole 2012, 5.)



Kuva 19. Kuormituksen muuttuessa toiminta muuttuu. (Nielsen ym. 2012, 11)

6.3.3 Monitorointi - Monitoring phase

Monitorointinäköymä tarjoaa konesalin toiminnan tuottamaa dataa kuten ympäristötietoja. Näitä ovat esim. lämpötila, kosteusprosentti, ilmavirran määrä ja virrankulutustietoja laite, kaappi-, rivi- ja konesalitasolla, ja tietoja jäähdytyksen tehosta. Lisäksi DCIM tarjoaa tietoja verkosta ja palvelimista kuten esim. prosessoreista, muistista, levyistä ja verkkoliikenteestä. Tällainen data on tärkeää, kun sitä voidaan käyttää tiettyjen raja-arvojen ylittyessä mm. hälyttämään henkilökunta tai käynnistämään muita toimenpiteitä. Tämä antaa mahdollisuuden pienentää korjaustoimenpiteiden vasteaikaa ja parantaa palvelun saatavuutta sekä pienentää mahdollisesti koituvia vahinkoja. (Cole 2012, 5, 8; Pakarinen 2014, 6.)

Ennen järjestelmän käyttöönottoa pitää päättää millä järjestelmillä tietoa kerätään. Se voi olla esimerkiksi Building Management System (BMS), joka on laitteistoperustainen tiedonkeräämisjärjestelmä, Network Management System (NMS), joka on verkkopohjainen tiedonkeräämisjärjestelmä tai sitten Data Center Monitoring System (DCMS), joka on näiden molempien yhdistelmä. Kuvassa 20 esitetään Zabbix -järjestelmällä monitoroituja tietoja verkkoyhteyden toimivuudesta sekä eri tavoilla esitettyjä tietoja serverin kuormituksesta ja käyttöasteesta. (Cole 2012, 5, 8; Pakarinen 2014, 6.)



Kuva 20. Verkkoysteys sekä serverin kuorma eri tavoilla esitettynä (Zabbix 2017)

Monitorointi on siis yksi DCIM:n keskeisimpiä ominaisuuksia. Jotkin järjestelmät osaavat automaattisesti lukea laitteiden tiedot halutusta verkosta ja tallentaa ne dokumentteihin. Tämä usein vaatii käyttäjätunnistuksen, jotta DCIM-järjestelmä ja laitteet osaavat todentaa itsensä toisilleen. Koska DCIM-järjestelmiä on niin monen tasoisia, on tärkeää tietää mitä ominaisuuksia haluaa konesalissaan monitoroida ennen kuin voi valita itselle sopivan DCIM-järjestelmän. Tässä vaiheessa on budjetoinnilla tärkeä osuus, koska halvalla ei yleensä saa parasta. Pitää myös miettiä haluaako parhaan vai riittääkö hyvä, jos se täyttää omat tarpeet. DCIM:n hankinnan alussa oman tarpeen hahmottamiseen kannattaa käyttää aikaa, ettei hankinnan jälkeen enää haikaile puuttuvia ominaisuuksia. (Cole 2012, 5, 8; Pakarinen 2014, 6.)

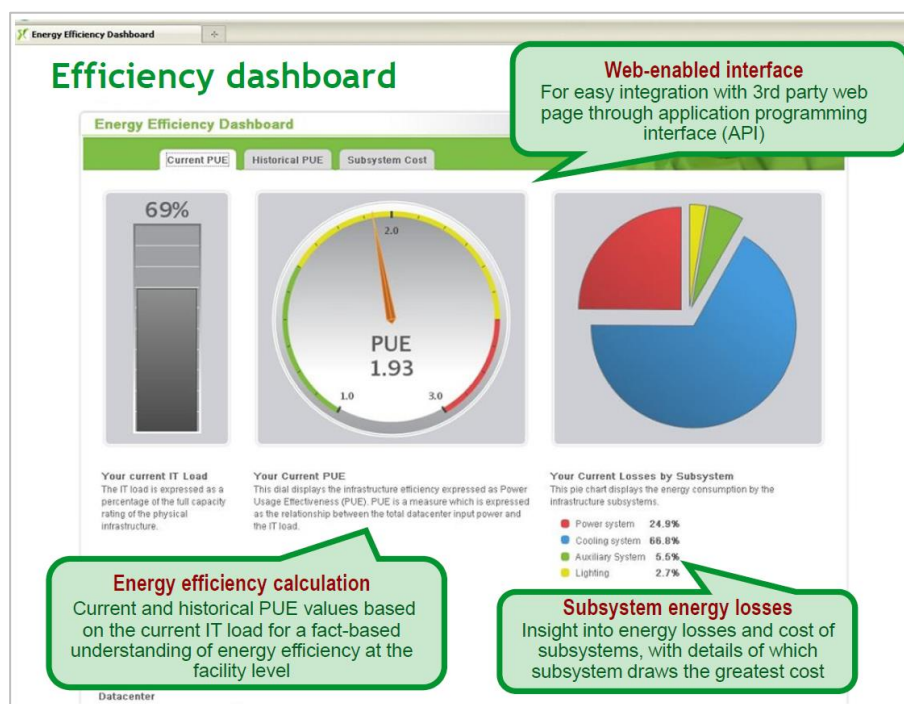
6.3.4 Ennustava analysointi - Predictive Analysis phase

Ennustavassa analysointinäkymässä DCIM analysoi suorituskykymittareita monitoroinista ja syöttää ne suunnittelunäkymään. Kapasiteettisuunnittelun eli laitteiden sijoituspäätökset kaappeihin voidaan tehdä näihin tuloksiin nojautuen. Seuraamalla resurssien

avainmittareita pitemmän aikaa voidaan tehdä parempia ratkaisuja, kun tehdään kokonaan uusien laitteistojen hankintapäätöksiä. (Cole 2012, 5, 9.)

Suuressa konesalissa, tuhansien laitteiden ympäristössä tarkkailtavaa dataa kertyy jatkuvasti suuria määriä. On hyvin tärkeää, että tätä datamassaa analysoidaan koko ajan, jotta siitä voi saada koko ajan käyttöön hyödynnettäviä suosituksia. Ilman DC-järjestelmää tällaisen analysoinnin, suositusten ja suunnittelun tekeminen voi olla todella suuri ja työläs tehtävä, ainakin jos sen haluaa tehdä oikein. Kuvassa 21 näkyy kuinka reaaliaikaista PUE-arvoa ja sen jakaantumista eri osa-alueisiin voi tarkkailla. (Cole 2012, 5, 9.)

Monipuoliset DCIM-järjestelmät pystyvät näyttämään kuinka paljon räkkitilaa, Rack Unit, on vapaana kaapeissa ja konesalissa. Tästä on hyötyä uusien laitteiden asennusten suunnittelussa. Se säästää aikaa ja vaivaa, kun ei esimerkiksi tarvitse käydä paikan päällä tarkistamassa, että onko vapaata tilaa vai tarvitaanko uusia kaappeja. (Geng 2014, 604.)

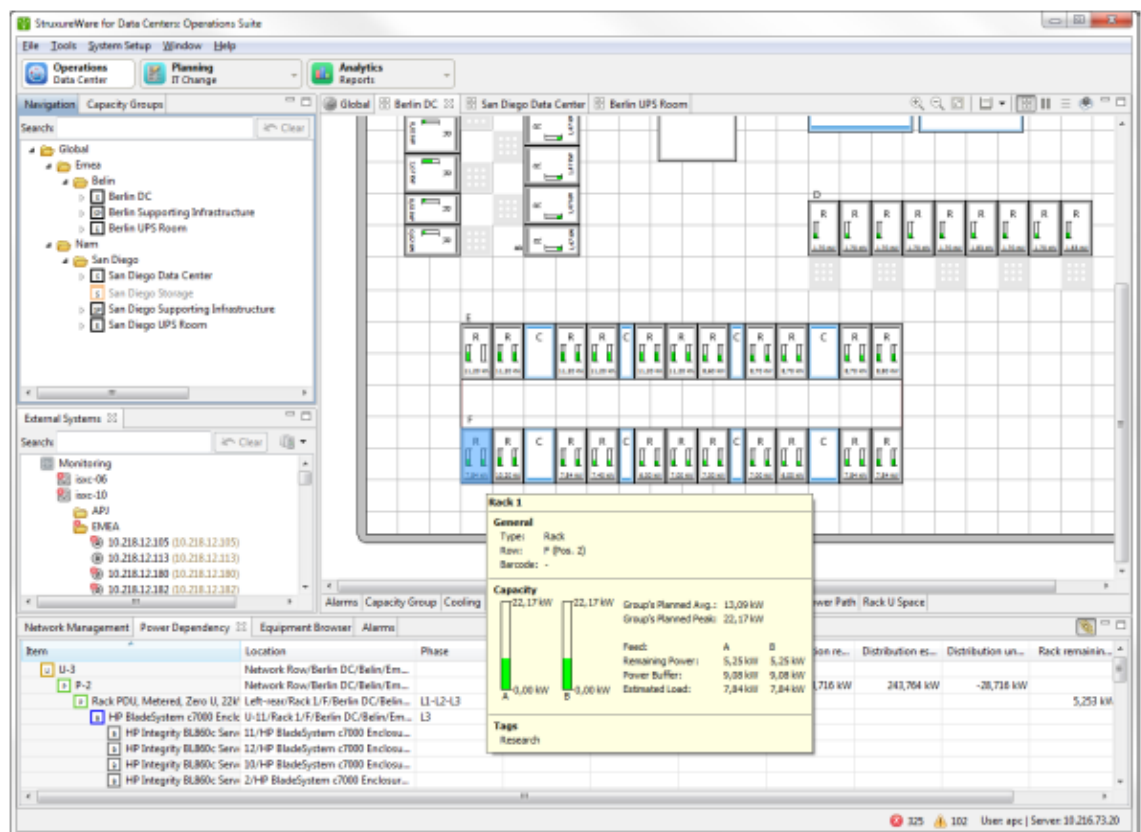


Kuva 21. Energiankulutuksen analysointiruutu Schneider Electric StruxureWare Operations DCIM -järjestelmässä (Nielsen ym. 2012, 14)

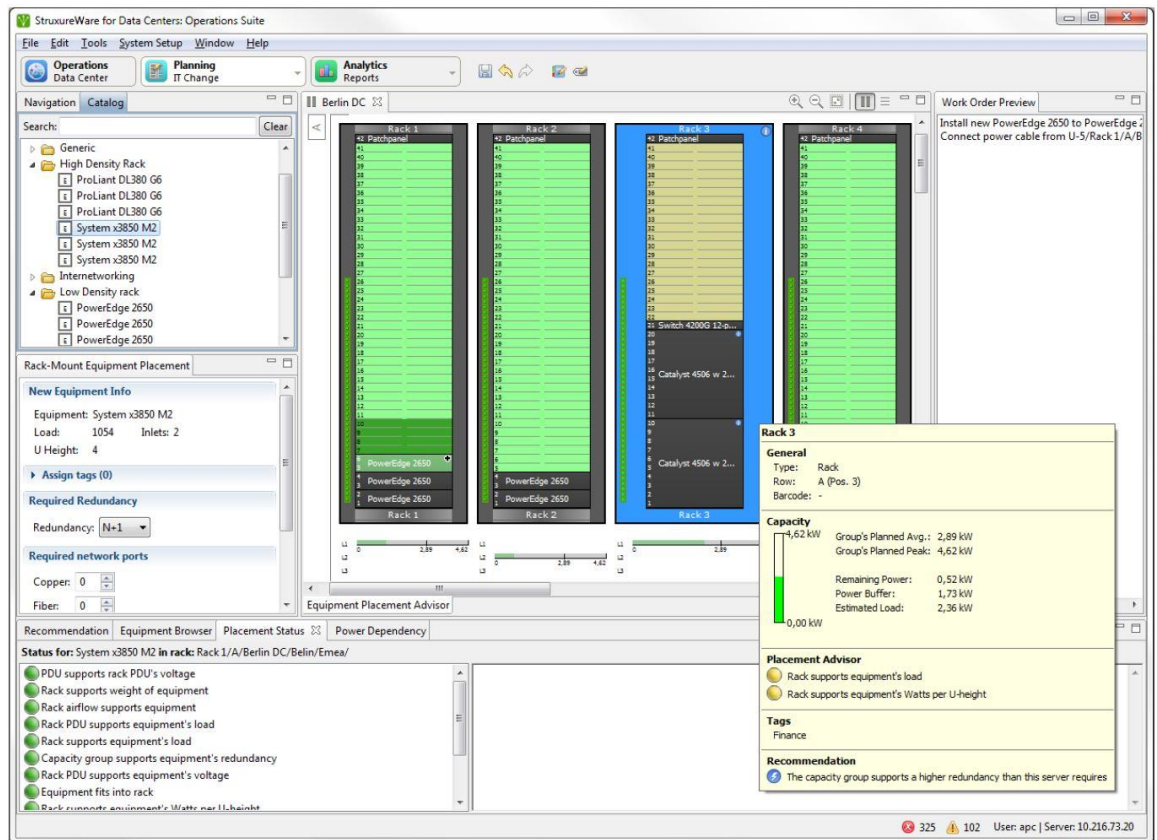
6.3.5 Suunnittelu - Planning phase

Suunnittelunäkymässä DCIM:ää voidaan käyttää analysoimaan "Mitä jos" -skenaarioita, kuten esimerkiksi palvelimien uudistamisen ja virtualisoinnin vaikutukset kokonaisuuteen

sekä laitteiden siirtojen, muutosten ja uudishankintojen aiheuttamat vaikutukset konesalissa. Tämä on yksi tärkeimmistä DCIM-järjestelmien ominaisuuksista. Konesalit toimivat yleensä parhaimmin silloin, kun niillä on tarpeeksi laskentakuormaa eli kuormitus on lähellä täyttä. Tämä pitää paikkansa varsinkin sähkönsyötön ja jäähdytyksen kohdalla. Tällöin niiden hyötysuhde on edullisimmillaan. Siksi on tärkeää suunnitella konesalit niin, että niiden resurssit ovat lähes täysimääräisesti käytössä. Varakapasiteetin suunnittelu ja ylläpito konesalille ovat taas oma aiheensa. Kuvassa 22 näkyy reaaliaikaisen datan keräämistä simulaatiota varten. Kuvassa 23 näkyy reaaliaikaisen simulaation tiedonkeräystä, jolla voidaan tarkistaa mm., mitä uusia laitteita voidaan sijoittaa laitekaappiin turvallisesti ilman häiriöitä virransyötössä tai jäähdytyksessä. (Cole 2012, 5, 10.)



Kuva 22. Konesalin reaaliaikaisen datan keräämistä eri skenaarioiden luomista varten Schneider Electric StruxureWare Operations DCIM-järjestelmällä. (Nielsen 2012, 5)



Kuva 23. Konesalin skenaarioiden luominen Schneider Electric StruxureWare Operations DCIM-järjestelmällä. (Nielsen ym. 2012, 6)

DCIM pystyy muodostamaan erilaisia raportteja monitoroinnilla saadun datan perusteella. Kaikki järjestelmät eivät kuitenkaan tee raportteja samalla tavalla. Raportoitavina asioina voi olla esimerkiksi: laitteiden iät, palvelinten käyttöasteet, laitteiden sähkönkulutus ja varautumissuunnitelmat. Laitteiden ikäkartoituksella voi etukäteen tehdä suunnitelmia tiettyjen laitteiden tai kokonaisten laitekantojen uusimisesta - jo ennen kuin ongelmia alkaa ilmaantua. Palvelinten käyttöasteen seuraaminen on yksi tärkeistä ominaisuuksista. Raportteja voidaan tehdä joko aikaisemmilta ajanjaksoilta tai nykytilanteesta. Tämä helpottaa suuresti suunniteltaessa kuormituksen jakamista. (Pakarinen 2014, 6, 7.)

6.4 Haamupalvelimet

Laitteiden monitorointi ja sähkönkulutuksen seuraaminen liittyvät myös kuormituksen seuraamiseen, sillä jos palvelin kuluttaa epäilyttävän vähän sähköä muihin palvelimiin verrattuna, on mahdollista, että se on ns. "haamupalvelin". Tällainen palvelin käynnissä ollessaan yksinomaan kuluttaa sähköä, eikä siitä ei ole hyötyä konesalin toiminnalle. Vuonna

2012 Uptime Institute -yhdistyksen tekemässä tutkimuksessa löydettiin Yhdysvalloissa n. 20 000 kpl haamupalvelimia, jotka kuluttivat 5 MW energiaa ja niiden jäähdyttäminen lisäsi 4 MW. On arvioitu, että maailmanlaajuisesti olisi mahdollista saavuttaa jopa 4 GW säästöt haamupalvelinten sammuttamisessa. Vuonna 2015 tehtiin tutkimus, jossa arvioitiin, että 30 % yhdysvaltalaisista palvelimista oli ”koomassa” eli eivät olleet tehneet hyödyllistä laskentaa 6 kuukauteen. Tästä on tehty päätelmiä, että maailmassa voi olla jopa 10 miljoonaa palvelinta jotka ovat ”koomassa”. (Sodhi 2017; Koomey & Taylor 2015, 1.)

On mahdollista, että yksittäiselle vähän virtaa kuluttavalle palvelimelle on määritetty aika ajoin käynnistyvä erikoistehtävä, mutta nämä erikoispalvelimet pitäisi olla muutenkin järjestelmänvalvojien tiedossa. Kun tällaisia sähköntuhlaajia löytyy, niille voidaan joko jakaa laskentakuormaa tai sitten poistaa käytöstä, kunnes tulee tarvetta lisäkapasiteetille. Näiden sähkösyöppöjen löytäminen voi olla hankalaa, ellei käytössä ole DCIM-järjestelmää tai ei pysty/osaa käyttää sen monitoroimia tietoja. Monitoroinnissa on tärkeää pitää huoli siitä, että anturit ovat kunnossa ja mittaustulokset tulevat jatkuvasti analysoitaviksi. Ei pidä vuosikausia sokeasti luottaa antureiden toimittamaan tietoon. Pieni katkos tai virhe tietovirrassa voi aiheuttaa väärintulkintoja, joten antureiden säännöllinen testaus on tärkeää (Nevalainen 2011, 36–37; Pakarinen 2014, 7, 11; Sodhi 2017; Koomey & Taylor 2015, 1.)

6.5 Ilmankosteuden säätölaitteet

Oikea ilmankosteus on tärkeää konesaleissa, koska liika ilmankosteus voi aiheuttaa veden kondensoitumista laitteiden pinnoille ja liian vähäinen ilmankosteus voi aiheuttaa staattisen sähköön purkautumista. Molemmat ilmiöt voivat vahingoittaa arkoja elektronisia laitteita. Näiden ilmankosteutta säätevien järjestelmien virittäminen oikealla tavalla voi säästää energiaa. Esimerkiksi jos ilmankosteutta lisäävä laite ja ilmaa kuivaava laite ovat yhtä aikaa päällä, ne tuhlaavat monin kerroin energiaa verrattuna siihen, että ne olisivat säädetyt oikein ja toimisivat ainoastaan vuorottain tai vain silloin kun niitä oikeasti tarvitaan. (Motiva 2011a, 15; 11.)

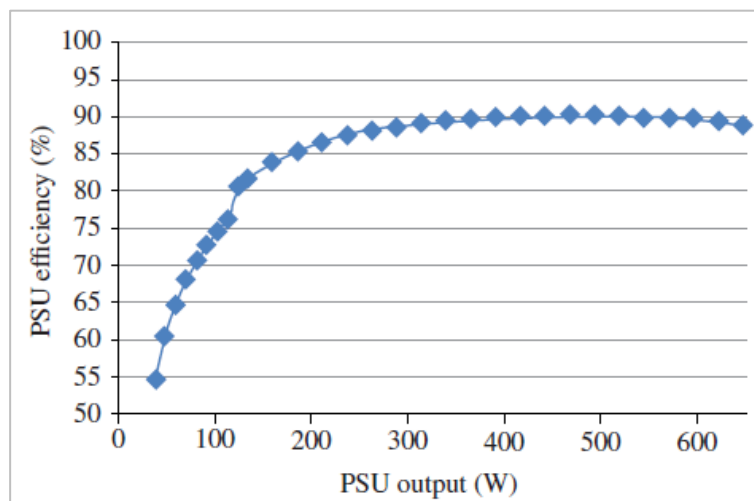
6.6 Sähkönsyöttö, varavirtalaitteet ja tasasähkö

Virtalähteiden (PSU) ja varavoimalaitteiden (UPS) häviöt ovat kohtuullisen suuria konesaleissa. Siksi vanhojen tilalle kannattaa uusittaessa hankkia korkean hyötysuhteen laitteita. Esimerkiksi UPS-laitteiden vaihtaminen korkean hyötysuhteen laitteisiin parantaa

tehokkuutta. Yleensä tämä kuitenkin kannattaa tehdä vasta sitten kun virtalähteet ja varavoima-akustot ovat elinkaarensa päässä. Kannattaa laskea, milloin on saavutettu maksimihyöty vanhasta laitteistosta vertailemalla uuden akuston hankintakustannusta ja vanhan laitteiston huonomman hyötysuhteen suurempaa kulutusta. Joissakin tilanteissa voi olla mahdollista, että jos käytetään hyvin vanhoja virtalähteitä ja varavoima-akustoja, näiden korvaaminen hyötysuhteeltaan tehokkaammilla saattaa tuoda jo muutamassa vuodessa hintansa takaisin. (Motiva 2011a, 10-11, 15; Geng 2015, 32-33, 346, 409.)

Korkean hyötysuhteen virransyöttölaitteet tarjoavat keinon alentaa virrankulutusta ja vähentävät samalla tarvetta virtalaitteiden jäähdytykselle, jolloin siitä syntyy suoraa säästöä. UPS-laitteiden akustot käyttävät sisäiseen toimintaansa osan sähkövirrastaan. Näiden laitteiden vaihtaminen korkean hyötysuhteen laitteisiin parantaa tehokkuutta. (Motiva 2011a, 10-11, 15; Motiva 2010b, 11; Geng 2015, 32-33, 346, 409.)

UPS-laitteet kannattaa mitoittaa siten, etteivät ne toimi osakuormalla, koska silloin niiden häviöt ovat suuret ja hyötysuhde on huono. UPS-laitteet toimivat hyötysuhteeltaan parhaiten, kun kuormitus on lähellä täyttä. Lisäksi jos sähkönsyöttöön on liitetty älykäs mittausjärjestelmä, reaaliaikainen kulutusseuranta on mahdollista ja esimerkiksi konesaliasiakkaille voidaan tarjota yksilöity, käyttöä vastaava sähkönkulutuslasku. Tämä on markkinointietu tarjouspyyntöihin vastattaessa. Kuvassa 24 näkyy hyötysuhteen huonontuminen virtalähteen kuormituksen alentuessa ollen ns. tyhjäkäynnillä lähes puolet parhaimmasta hyötysuhteesta. (Motiva 2011a, 10-11, 15; Geng 2015, 32-33, 346, 409.)



Kuva 24. Virtalähteen hyötysuhde erilaisilla kuormituksilla (Geng 2015, 409.)

Myös tasasähköön siirtyminen parantaa energiatehokkuutta, koska tasavirtaa käyttävät laitteet ovat sekä yksinkertaisempia että hyötysuhteeltaan parempia. Tasasähköä voivat

kuitenkin hyödyntää vain sellaiset laitteet, joissa on tasasähkövalmius, joten yleensä tätä ratkaisua voidaan käyttää vain uudemmissa ja rakenteilla olevissa konesaleissa. (Motiva 2011a, 10-11, 15; Geng 2015, 32-33, 346, 409.)

6.7 Valaistus

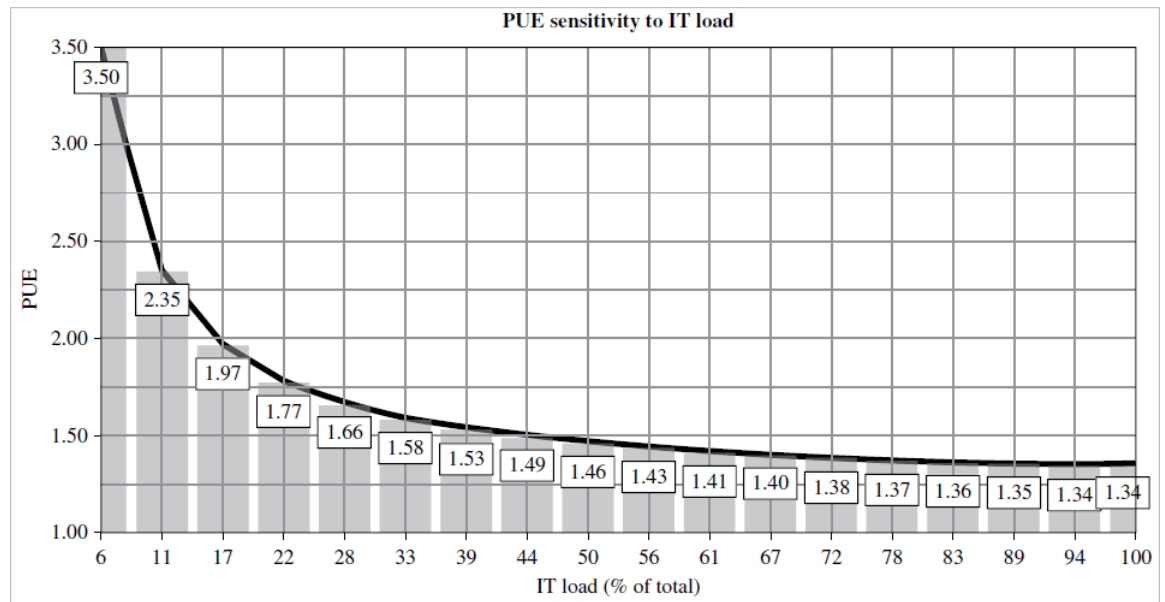
Myös valaistuksella voidaan saada aikaan säästöjä, jos ne ovat kohdistetut vain oikeisiin työpisteisiin, niitä pidetään päällä vain, kun henkilökuntaa on paikalla (esimerkiksi liiketunnistimilla sytyttäminen) ja jos ne ovat vaihdettu energiaa säästäviin led-valoihin. Lisäksi on huomattava, jos valot eivät ole turhaan päällä, ne eivät myöskään tuota turhaan lämpöä eivätkä siten tarvitse jäähdytystä. (Motiva 2011a, 15.)

6.8 Palvelinlaitteiden virtualisointi

Palvelinvirtualisoinnilla ja palvelinresurssien kuormituksen jakamisella saadaan nostettua palvelinten käyttöastetta, kun resursseja voidaan kohdistaa tasaisesti koko palvelinsalin laitteisiin. Tästä seuraa, että vajaateholla työskenteleviä palvelinlaitteita tarvitaan vähemmän, hyötysuhteen parantuessa sähköä kuluu vähemmän ja palvelintila tarvitsee luonnollisesti vähemmän jäähdytystä. (Motiva 2011a, 5, 14.)

6.9 Laskentakuorman vaikutus hyötysuhteeseen

Kuvassa 25 näkyy kuinka vajaakuormalla konesalin hyötysuhde voi olla hyvin huono. Alhaisilla laskentakuormilla PUE-arvo on siis korkea. Tämä on ongelma myös uusilla konesaleilla, koska kaikkea IT-laitteistoa ei ole vielä asennettu eikä määritetty käyttöön. Tämä huonon hyötysuhteen vaihe voi kestää pitkäänkin. Kun konesali alkaa olla valmis ja laskentakuormitus lähellä optimia, hyötysuhde paranee. Vasta yli 70 % laskentakuormilla hyötysuhde alkaa olla hyväksyttävällä tasolla. Tehokkaaseen kuormitukseen pääsemiseksi tarvitaan hyvän suunnittelun lisäksi haamupalvelimien poistamista ja vajaakuormitettujen palvelimien työkuormien yhdistämistä. (Geng 2015, 26 Energy Star 2017c.)

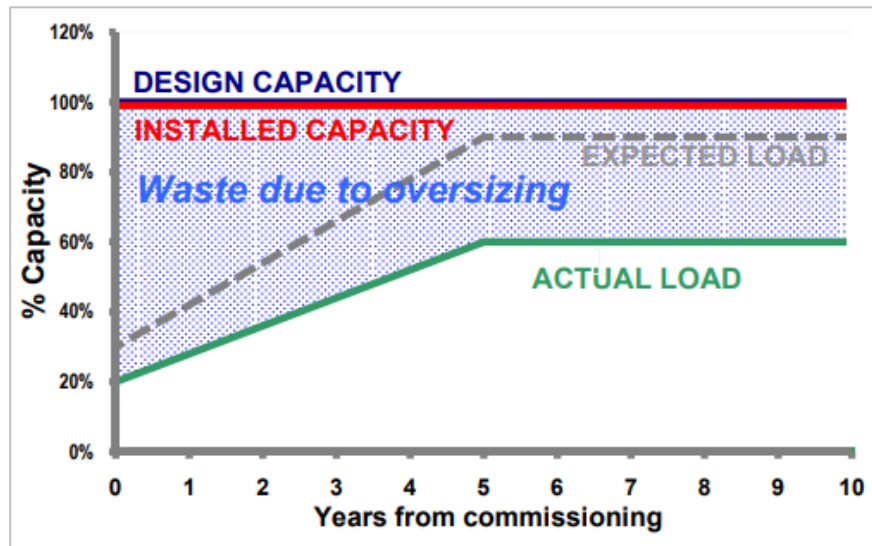


Kuva 25. Konesalin vajaa- ja optimikuormituksen hyötysuhteen ero (Geng 2015, 26)

6.10 Käyttöiälle resursoidun kapasiteetin ylityöittaminen

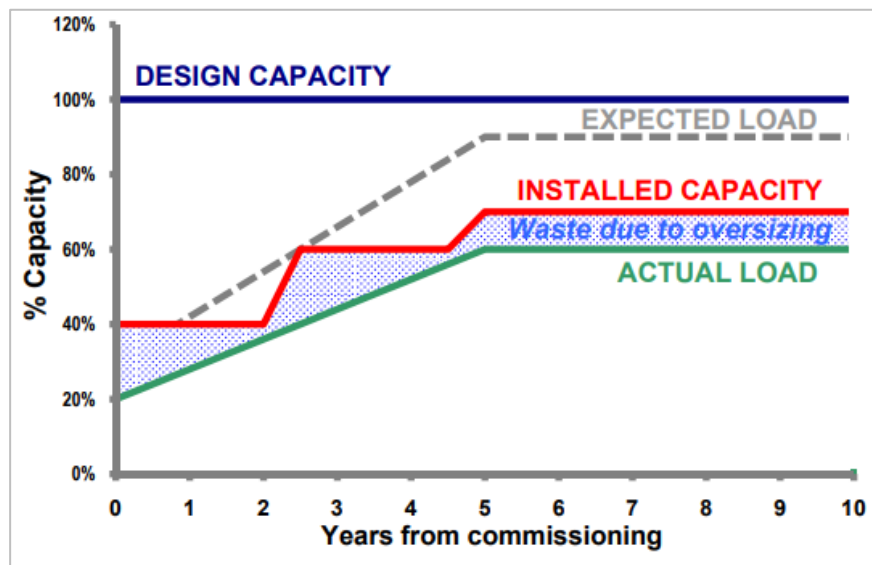
Datakeskuksia suunniteltaessa kapasiteetin määrittäminen on erittäin tärkeä tekijä. Resurssipulan välttämiseksi myöhemmin suunnittelussa ongelmana on yleensä ylityö. Jos kuitenkin suunnittelussa hahmotetaan jo alussa, missä tahdissa datakeskuksen kapasiteettia tullaan todellisuudessa kuormittamaan, on mahdollista säästää käyttöiän aikana suuriakin summia. (Rasmussen 2012, 2-3.)

Kuvassa 26 kuvataan datakeskuksen kymmenen vuoden elinkaarelle suunniteltua kapasiteettia (Design capacity) ja asennettua kapasiteettia (Installed capacity) sekä odotettua kuormitusta (Expected load) että todellista käyttökuormitusta (Actual load). Siniharmaana näkyvät tuhlatut resurssit eli investoidut pääomat, jolle ei ole saatu käyttöä eikä hyötyä. Tämä tarkoittaa hukatun pääoman lisäksi myös suuren energiamäärän hukkaamista osan laitteista käydessä koko ajan lähes tyhjäkäynnillä. (Rasmussen 2012, 2-3.)



Kuva 26. Suunniteltu ja todellinen käyttöaste datakeskuksessa (Rasmussen 2012, 3)

Kuvassa 27 esitetään datakeskuksen elinkaaren resurssien tarkempaa suunnittelua. Suunniteltu ja odotettu kapasiteetti sekä todellinen käyttökuormitus ovat edelleen samat kuin aiemassa kuviossa, mutta asennettu kapasiteetti noudattaa elinkaaren todellisen käyttökuormituksen vaatimuksia. Lisäkapasiteettia rakennetaan ja asennetaan vasta siten, kun sille löytyy asiakkaita eli oikeata käyttöä. Kuva näyttää, että siniharmaana näkyvä tuhlatu resurssi on paljon pienempi kuin aiemmassa kuvassa. (Rasmussen 2012, 6-7.)



Kuva 27. Suunniteltu ja todellinen käyttöaste datakeskuksessa (Rasmussen 2012, 3)

Koska resursseja rakennetaan tarpeen mukaan lisää, käyttökuormitus on koko ajan hyötysuhteen kannalta lähellä optimaalista tasoa. Tämä tarkoittaa pääomien säästämisen lisäksi myös sitä, että sähköenergiaa ylimääräisille IT-laitteille ja niiden jäähdytykseen ei kulu tarpeettomasti. (Rasmussen 2012, 3-8.)

Jos datakeskuksen rakennuttajalla on tarpeelliset tiedot käytössään, hän voi kuvan 28 mukaisella laskurilla tehdä päätelmiä datakeskuksen suunnittelun avuksi. Tämä laskuri löytyy APC by Schneider Electric -nettisivulta osoitteesta [Data Center Design Planning Calculator](#). (Rasmussen 2012, 8.)

Laskurissa ensin valitaan sijainniksi Eurooppa ja Suomi, siihen laskuri ehdottaa kurssiksi euroa sekä sähkönhinnaksi suurin piirtein oikeaa hintaa. Sitten syötetään sähkökuormituksen ja infrastruktuurin tietoja sekä lopuksi elinkaaren ja investoidun pääoman korkotiedot. Sen jälkeen laskuri tulostaa suunnittelun parametrit (Design parameters) kuva 28, kasvusuunnitelman (Growth plan) kuva 29, elinkaarikustannukset (TCO details) kuva 30 sekä vuosikustannukset (Yearly costs) kuva 31. Tämän perusteella kustannusten ennakointi ja rakennusaikataulujen laskeminen voivat helpottua. (Rasmussen 2012, 8.)

Life Is On | Schneider Electric | DATA CENTER DESIGN PLANNING CALCULATOR

Data Center Location: Europe | Finland | Currency: Local currency (€)

Set IT Load

Initial Load: 1000 kW

Minimum Final Load: 5000 kW

Maximum Final Load: 10000 kW

Ramp-up to Final Load: 5 years

Physical Infrastructure

Module Step-size: 1000 kW

Deployment Rate: At most every year

System Redundancy: 1N power & cooling

Cooling Architecture: Perimeter CRAH / chiller & tow

Economizer Hours: 5000 Full 1000 Partial

Financial Analysis

Electricity Cost per kWh: € 0.11

Depreciation Period: 10 years

Cost of Capital: 10%

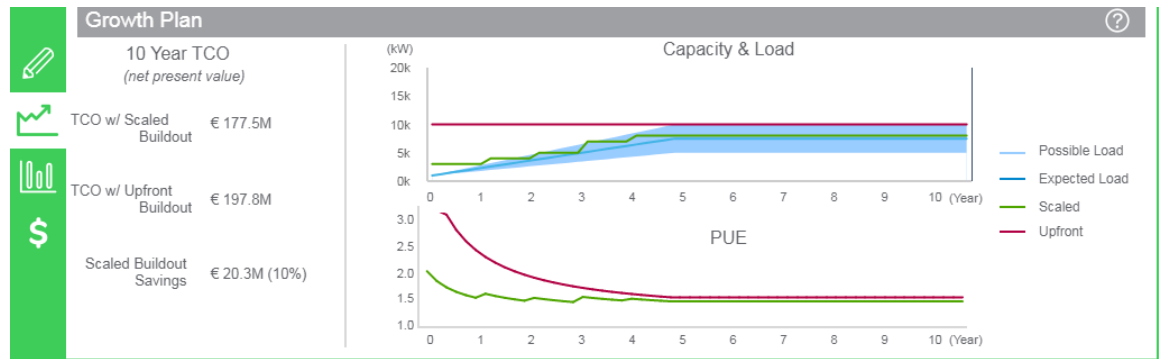
☒ Include switchgear ☒ Include generator

☒ Include raised floor ☒ Include chiller plant

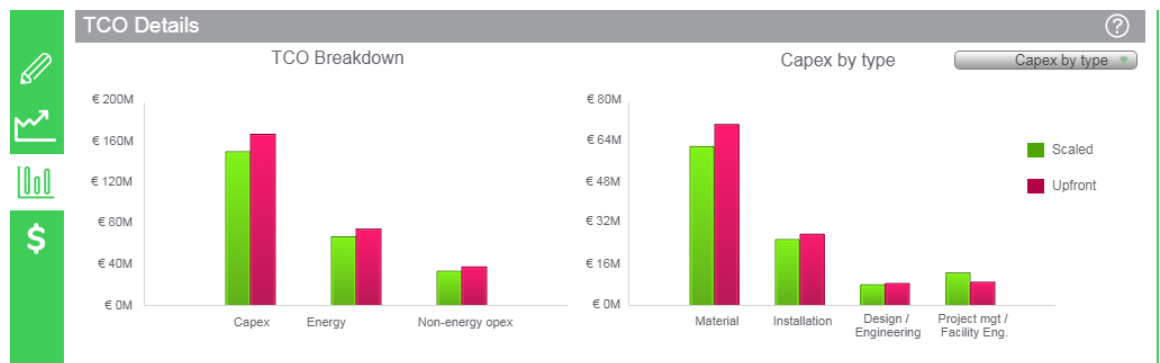
Design Parameters

		Scaled	Upfront
CAPACITY	Day 1 Capacity of Scalable Elements	3.0 MW	10.0 MW
	Non-scaled Elements	10.0 MW	10.0 MW
	Day 1 Modules	3	
	Modules per Growth Step	1 or 2	
PUE	Final PUE	1.38	1.45
	Day 1 PUE	1.75	2.78
CRITICALITY	Power	1N	1N
	Cooling	1N	1N
BUDGET REQUIRED	Total Capex (NPV)	€ 106M	€ 118M
	Day 1 Capex	€ 92.0M	€ 118M

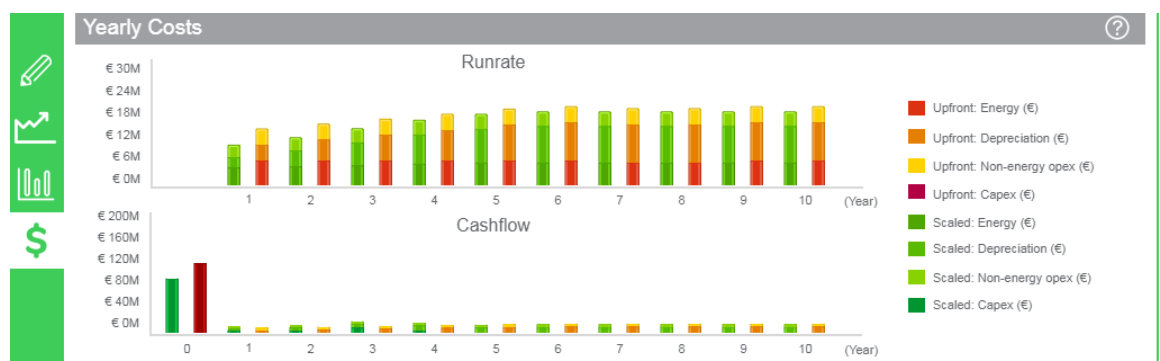
Kuva 28. Datakeskuksen suunnittelulaskurin parametrit (Rasmussen 2012, 8)



Kuva 29. Suunnittelulaskurin kasvusuunnitelma ja PUE-arvon kehitys (Rasmussen 2012, 8)



Kuva 30. Suunnittelulaskurin elinkaarikustannukset (Rasmussen 2012, 8)



Kuva 31. Suunnittelulaskurin vuosikustannukset (Rasmussen 2012, 8)

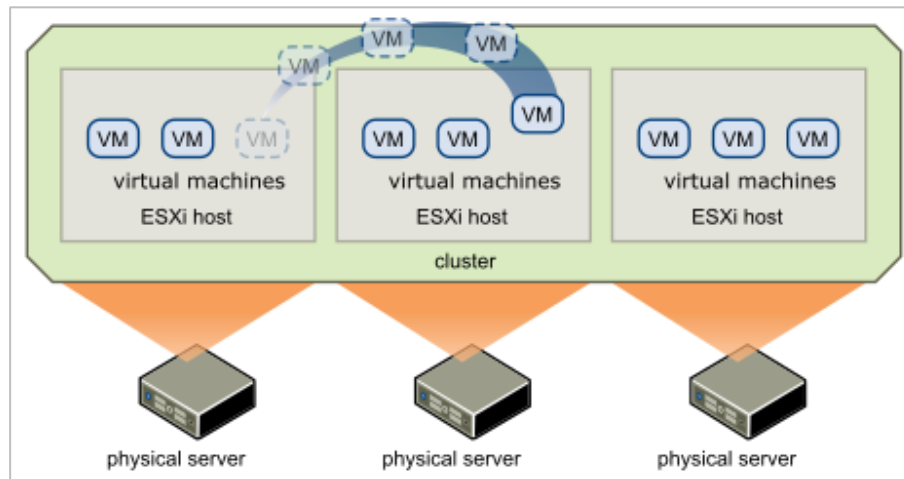
6.11 Kuormantasaus- ja virranhallintateknologiat

Esimerkiksi VMwaren ESXi virtualisointiympäristössä on valmiiksi sisäänrakennettuna virtualisointialustojen kuormantasaustoimintoja ja virransäästöteknologioita. Näitä toimintoja yhdessä käyttämällä voidaan säästää virtaa, kun VMwaren ESXi ei ole optimaalisesti kuormitettuna eli palvelimet ovat vajaakäytössä. Ennen tätä on määritettävä BIOS-asetukset, jotta ESXi voi ottaa käyttöön virransäästöominaisuuksia joita laitteisto tukee. BIOS:ssa pitää ottaa käyttöön virranhallinnan asetuksissa muutos "OS control mode" tai vastaava. Siellä voi olla myös joitakin virransäästöominaisuuksia suoraan ESXi:lle. Esimerkiksi C1E on syvän lepotilan laitteistohallinnoitu tila. Sen jälkeen on mahdollista määrittää ESXi:n virransäästöominaisuudet käyttöön ohjelmallisesti. (VMware 2013; VMware 2017; VMware 2017b; VMware 2017c.)

6.11.1 Distributed Resource Scheduler

VMwaren ESXi -hostit käyttävät hyväkseen klusterointia. Klusterit ovat usean tietokoneen ryppäitä, joissa yksi palvelin jakaa muiden tietokoneiden resursseja jonkin tehtävän suorittamiseen. ESXi -resurssien klusterointia voidaan esimerkiksi käyttää eriyttämään laskentakuormaa eri liiketoimintayksiköillä. Klusterit tarjoavat korkeaa saatavuutta (High Availability) palveluille, ne tasaavat työkuormia hostien välillä suorituskyvyn ylläpitämistä varten ja ne voivat skaalautua ja hallinnoida työkuormia ilman palvelun keskeytyksiä. (VMware 2017; VMware 2017b.)

VMware vSpheren DRS tasaa kuormia ja resursseja klustereissa optimoimalla suorituskykyä hosteilla ja virtuaalikoneilla. DRS:llä voi parantaa palvelutasoa takaamalla sopivat resurssit virtuaalikoneille. Niillä voi ottaa käyttöön uusia resursseja klusteriin ilman katkoksia palvelussa. DRS voi automatisoida virtuaalikoneiden migratointia eli siirtämistä hostilta toiselle huoltojen aikana ilman palvelukatkoja. Lisäksi järjestelmänvalvojalla on mahdollisuus monitoroida ja hallinnoida enemmän virtualisointialustoja. Kuvassa 32 periaatekuva DRS:n toiminnasta, jossa klusterin sisällä siirretään virtuaalikone hostilta toiselle ilman palvelun katkeamista. (VMware 2017; VMware 2017b; VMware 2017c.)



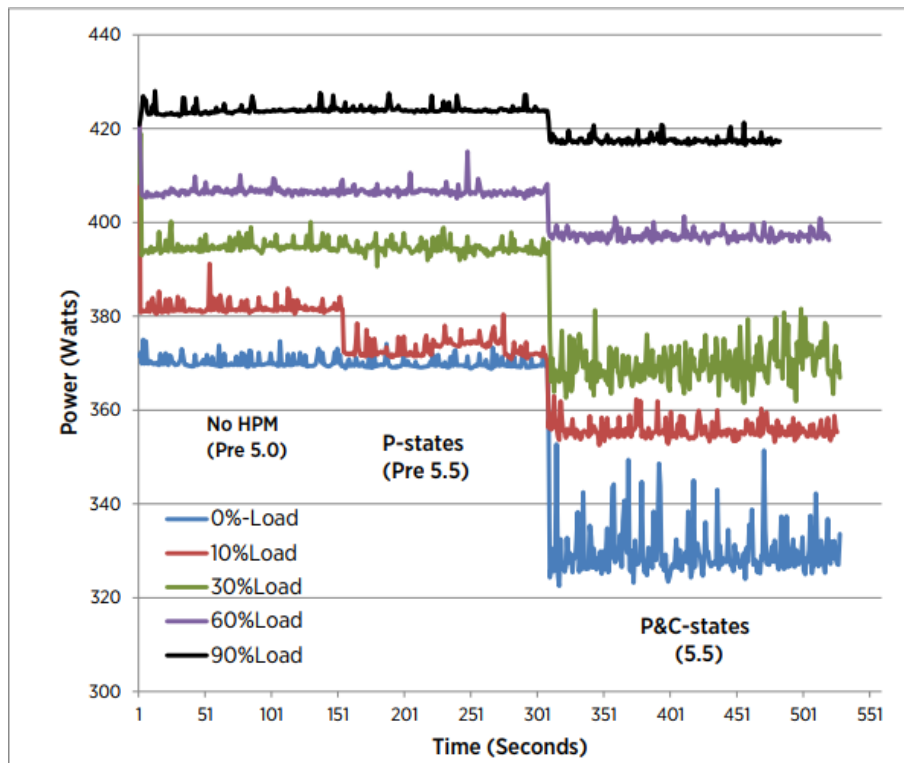
Kuva 32. Periaatekuva DRS:n toiminnasta (VMware 2017c)

6.11.2 Distributed Power Management DPM

vSpheren Enterprise Plus -versiossa toiminnallisuutena olevalla DPM:llä voi vähentää virrankulutusta ja jäähdytyskuluja jopa 20 % alemmaksi vähäisen kuormituksen ajanjaksoina. Se automatisoi energiankulutuksen hallintaa konesalissa keskittämällä kuormitusta tehokkaammin. DPM voi sammuttaa hosteja ja sen hallinnoimat toimenpiteet otetaan käyttöön vähintään 5 minuutin ajanjaksoksi. (VMware 2017b.)

6.11.3 Host Power Management HPM

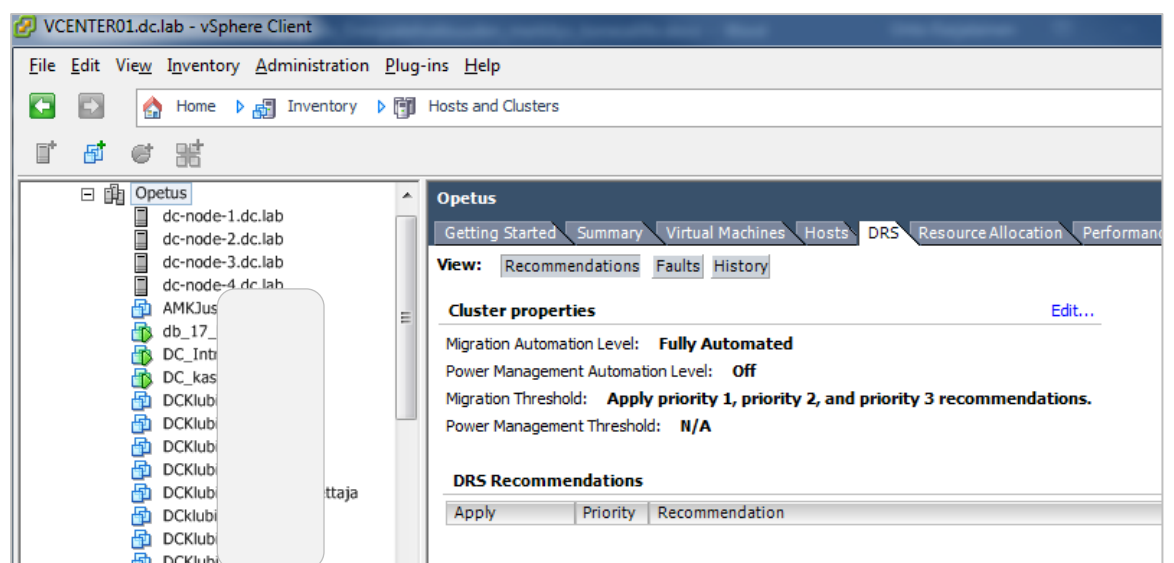
vSpheren HPM:llä hallitaan hostien laitteistoja asettamalla niitä lepotilaan heti, kun niitä ei tarvita täydellä teholla. Näitä lepotilaan asetuksia voidaan ottaa käyttöön millisekuntien ajanjaksoiksi. Kuvassa 33 näkyy, miten HPM alentaa hostin tehonkulutusta erilaisilla asetuksilla ja kuormitustasoilla. Esimerkiksi 90 % kuormituksella (ylin käyrä) kulutus laskee vain hieman, kun taas alemmilla kuormitustasoilla saavutettavat kulutussäästöt ovat suurempia. HPM:ssä on neljä erilaista energiansäästökäytäntöä. Ensimmäisessä eli "No HPM" tarkoittaa, että energiansäästö ei ole päällä ja että kaikki laskentateho on käytössä. "P-states" tarkoittaa, että jotakin energiansäästökeinoja käytetään eikä niillä ei ole suurta vaikutusta suorituskykyyn. "P&C-states" tarkoittaa, että kaikki energiansäästökeinot ovat käytössä, jopa senkin uhalla, että laskentateho voi heiketä. HPM:ssä järjestelmänvalvojalla on lisäksi mahdollisuus muokata käyttöön "Custom policy" -asetukset, jolla voi itse päättää millaisia energiansäästökeinoja otetaan käyttöön. (VMware 2013.)



Kuva 33. HPM toiminnan kuvaus kuva (VMware 2013, 14)

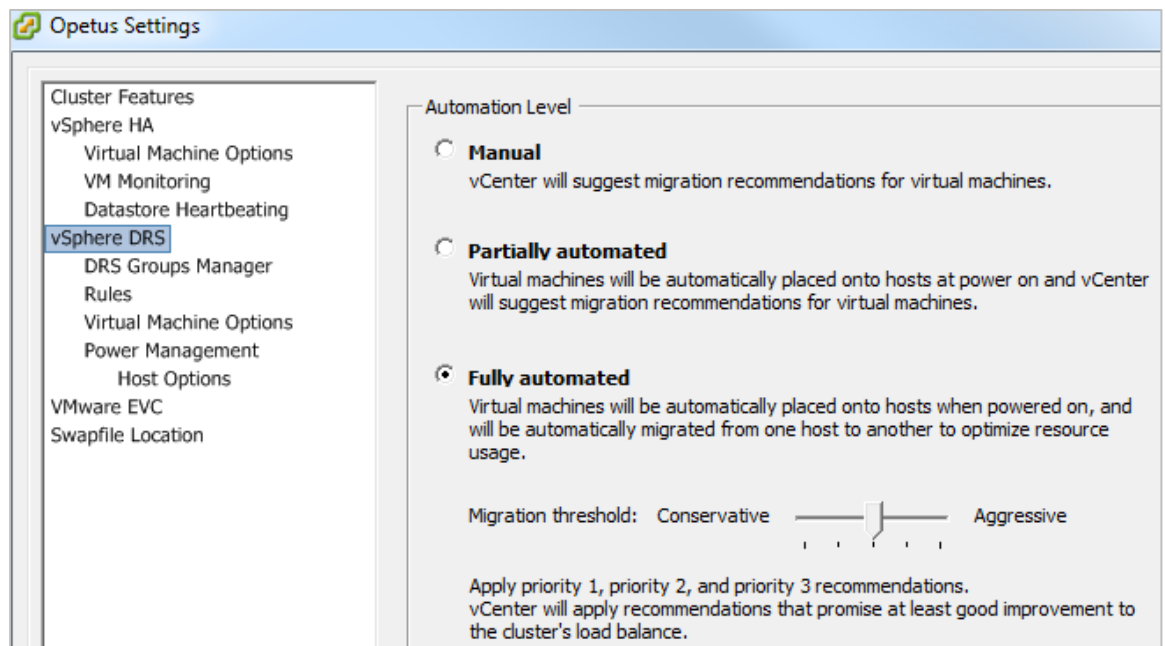
6.12 KAMK:n tietojärjestelmälaboratorion oman konesalin vCenterin DRS-toiminto

Seuraavassa näytetään, millaiset ovat konesalin vCenterissä DRS-asetukset. Kuvassa 34 avataan Opetus -datacenterin välilehdeltä DRS-näkymä ja klikataan Edit -valintaa.



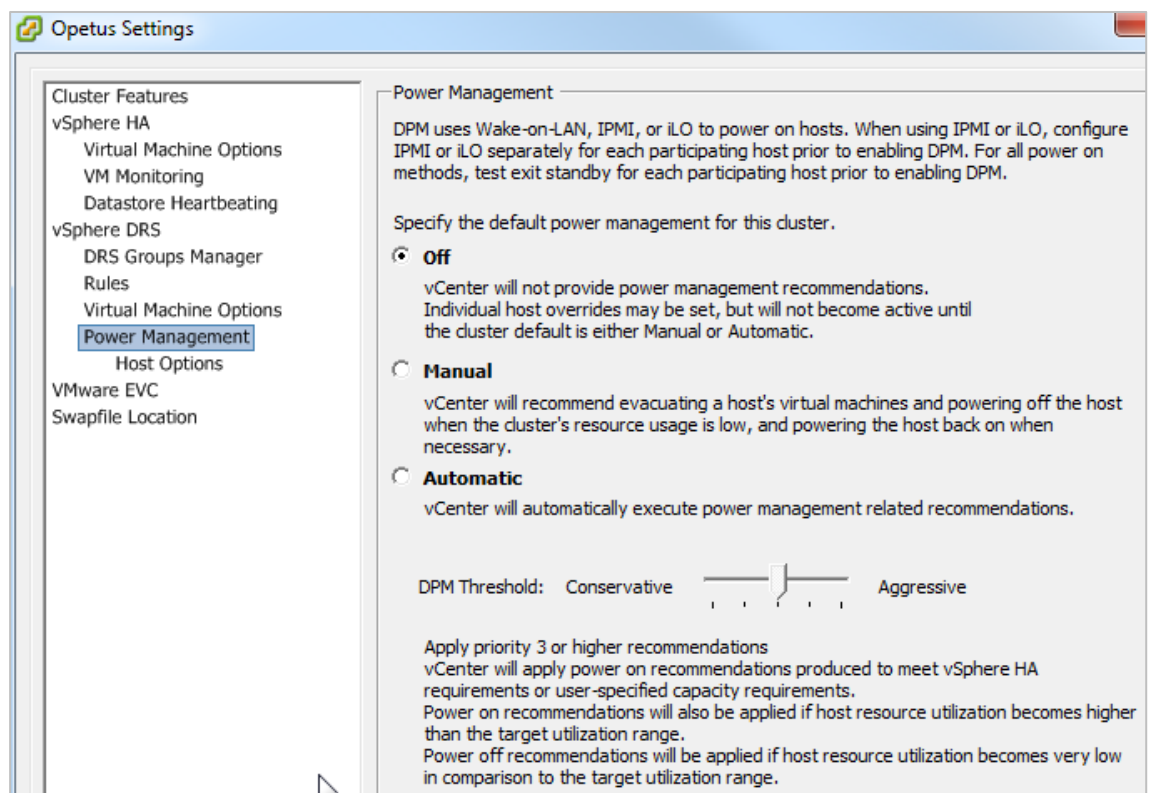
Kuva 34. vCenterin DRS -välilehden hallintanäkymä (ruutukaappaus, DC-labra vCenter)

Kuvassa 35 hallintanäkymän DRS-ikkuna, jossa otettu täysi automatiikka käyttöön.



Kuva 35. DRS hallintanäkymä (ruutukaappaus, DC-labra vCenter)

Kuvassa 36 on Power Management asetus pois päältä. Vaihdetaan se manuaaliselle asetukselle, jolloin se antaa suosituksia toimenpiteistä.



Kuva 36. Power Management hallintanäkymä (ruutukaappaus, DC-labra vCenter)

Kuvassa 37 DRS näkyvässä hallintaohjelma antaa ehdotuksen siirrettävistä virtuaaliko-
neista pois dc-node1:sta muille nodeille sekä lopuksi antaa ehdotuksen sammuttaa dc-
node1 kokonaan virransäästämiseksi.

Getting Started

Summary

Virtual Machines

Hosts

DRS

Resource Allocation

Performance

Tasks & Events

Alarms

Permissions

Maps

Profile Con

View:

Recommendations

Faults

History

Last

Cluster properties

Edit...

Migration Automation Level: **Fully Automated**

Power Management Automation Level: **Manual**

Migration Threshold: **Apply priority 1, priority 2, and priority 3 recommendations.**

Power Management Threshold: **Apply priority 1, priority 2, and priority 3 recommendations.**

DRS Recommendations

Apply	Priority	Recommendation	Reason
<input checked="" type="checkbox"/>	2	Migrate Joona... to dc-node-1.dclab to dc-node-4.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate TTK16..._WinServer1 from dc-node-1.dclab to dc-node-4.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate TTK14...OpenLDAP from dc-node-1.dclab to dc-node-4.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate TTK15...cript from dc-node-1.dclab to dc-node-3.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate TTK14..._l_CF_simple from dc-node-1.dclab to dc-node-2.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate TTK15...Struxureware from dc-node-1.dclab to dc-node-4.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate TTK16...UbuntuMC from dc-node-1.dclab to dc-node-4.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate TTK15..._GIC_09 from dc-node-1.dclab to dc-node-4.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate TTK14...WinServer2012R2_02 from dc-node-1.dclab to dc-node-3.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate TTK16...buntuServer from dc-node-1.dclab to dc-node-4.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate TTK14...fsense from dc-node-1.dclab to dc-node-4.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate TTK16...VServer2012Core from dc-node-1.dclab to dc-node-4.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate ttv16...tostfi from dc-node-1.dclab to dc-node-4.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate TTI13...dServer from dc-node-1.dclab to dc-node-3.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate TTK15...ris_ESX2 from dc-node-1.dclab to dc-node-4.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate Touko...ver from dc-node-1.dclab to dc-node-4.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate Simpp...ve-CentOS from dc-node-1.dclab to dc-node-4.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate DC_ka...ave from dc-node-1.dclab to dc-node-3.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate TTK16...WServer2 from dc-node-1.dclab to dc-node-4.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate TTK16...konen_Linux from dc-node-1.dclab to dc-node-4.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate TTK14..._Opari2_Grafana from dc-node-1.dclab to dc-node-2.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate Simpp...rekoulutus-MongoDB from dc-node-1.dclab to dc-node-2.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Migrate TTK16...buntu1 from dc-node-1.dclab to dc-node-4.dclab	Power Off host for power savings
<input type="checkbox"/>	2	Power off host dclab	Power Off host for power savings

Kuva 37. DPM antamat suositellut toimenpiteet (ruutukaappaus, DC-labra vCenter)

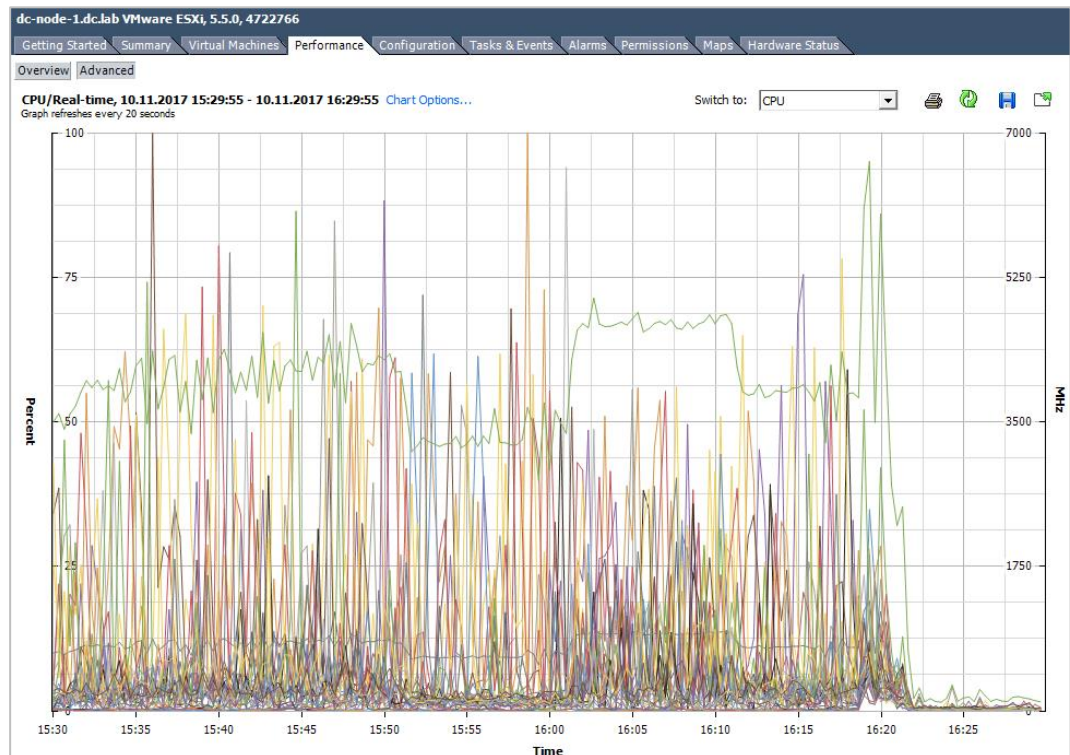
Ehdotetut virransäästötoimenpiteet saa käyttöön painamalla hallintanäkymän oikeasta alanurkasta painiketta ”Apply Recommendations”.

Kuvassa 38 DRS aloittaa kaikkien Recommendation -listalla olevien virtuaalikoneiden siirron ja sen jälkeen olisi vuorossa hostin dc-node-1.dc.lab sammuttaminen virransäästötoimenpiteenä. Operaation annettiin toimia hetken aikaa ennen kuin peruutettiin, koska toiminta olisi alkanut sammuttaa dc-node-1 -hostia, eikä sitä haluttua tässä testissä tehdä.

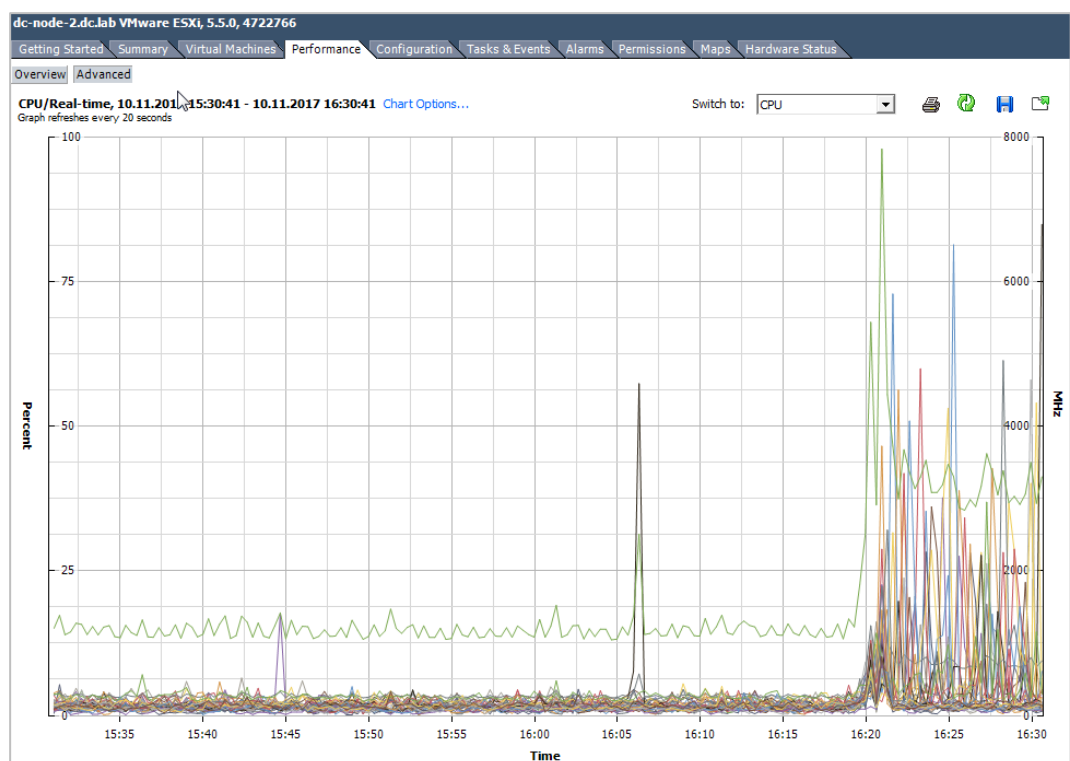
Recent Tasks		
Name	Target	Status
Migrate virtual machine	DC_...e_slave	5% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	Joor...	5% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	Toul...xserver	5% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	TTK...S_pfsense	5% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	TTK...eH_GIC_09	5% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	ttv1...tudiotesti	5% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	TTK...kaS_WinServer1	5% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	TTK...S_OpenLDAP	5% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	TTK...oS_Opari2_Grafana	5% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	TTK...Waris_ESX02	15% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	TTK...K_WinServer2012R2_02	5% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	TTK...IT_WServer2	14% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	TTK...IT_UbuntuMC	5% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	TTK...C_Script	5% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	TTK...rF_Struxureware	✓ Completed
Migrate virtual machine	TTK...H_Ubuntu1	5% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	TTK...Kukkonen_Linux	✓ Completed
Migrate virtual machine	Simp...Movekoulutus-MongoDB	5% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	Simp...move-CentOS	5% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	TTK...noH_CF_simple	5% <input type="text"/>
Migrate virtual machine	TTI1...BuildServer	14% <input type="text"/>

Kuva 38. Virtuaalikoneiden migraatio dc-node1:ltä toisille nodeille (ruutukaappaus, DC-labra vCenter)

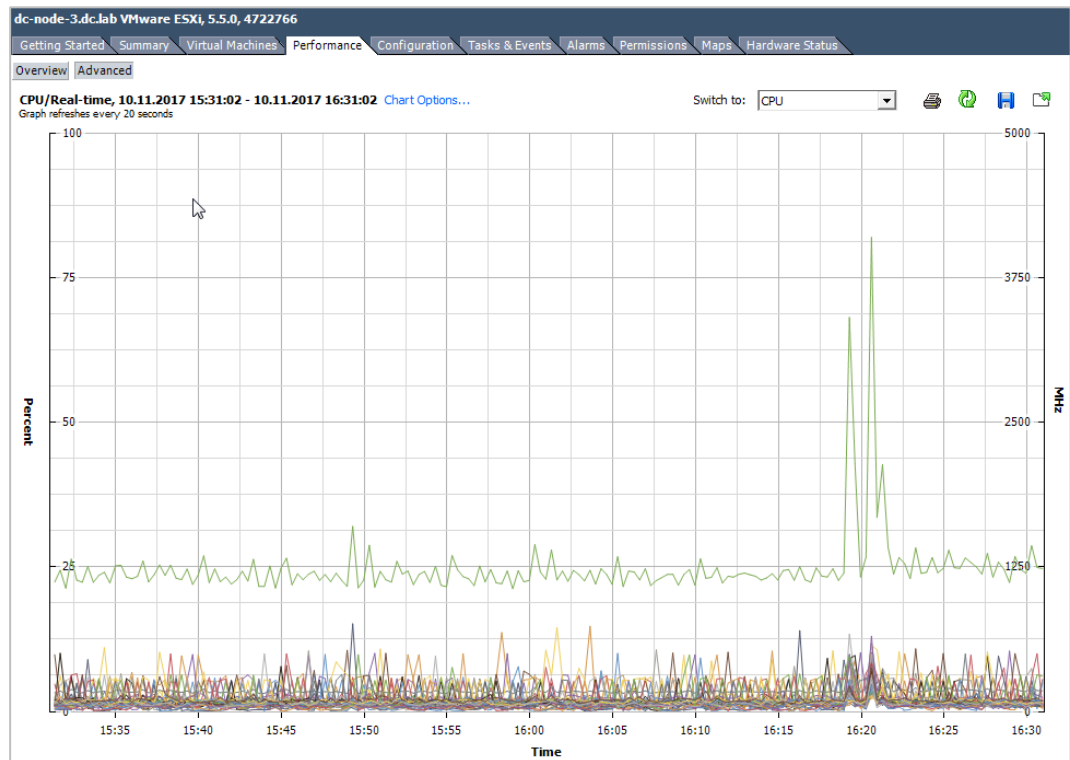
Kuvat 39, 40, 41 ja 42 kertovat hostien resurssitarpeen muutoksesta, kun lepotila ja virransäästötoimenpiteitä otetaan käyttöön.



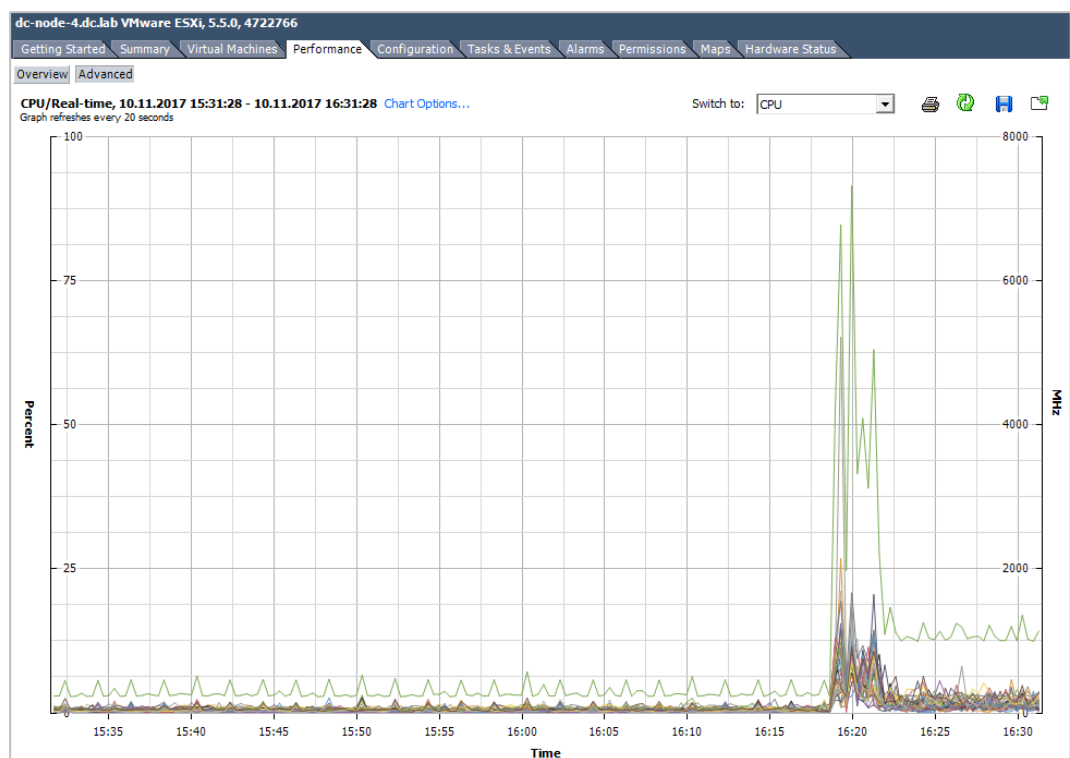
Kuva 39. Host dc-node-1 suorituskyky (ruutukaappaus, DC-labra vCenter)



Kuva 40. Host dc-node-2 suorituskyky (ruutukaappaus, DC-labra vCenter)



Kuva 41. Host dc-node-3 suorituskyky (ruutukaappaus, DC-labra vCenter)



Kuva 42. Host dc-node-4 suorituskyky (ruutukaappaus, DC-labra vCenter)

6.13 Energiatehokkaat laitteet

Uusia laitteita hankittaessa ja eri toimittajien tuotteita vertailtaessa, tulee tarjoajilta jo tarjouspyynnössä edellyttää, että heidän laitteensa täyttävät jonkin energiatehokkuuden mittaamiseen kehitetyn standardin vaatimukset esimerkiksi Energy Star tai TCO Certified. Palvelinlaitteiden valinnassa kannattaa siis nojautua johonkin energiatehokkuuden standardiin, jolloin voi jo olettaa saavansa energiatehokkaamman laitteen kuin yleensä hyllytavarana. Kun palvelimet kuluttavat vähemmän sähköä, ne myös tuottavat vähemmän lämpöä ja tarvitsevat vähemmän jäähdytystä. (Motiva 2011a, 5, 14; Motiva 2010b, 12; Energy Star 2017; TCO 2017.)

Konesaleissa olevien IT-laitteiden kuten levyjärjestelmien, UPS- ja verkon aktiivilaitteiden lisäksi itse palvelinlaitteiden energiatehokkuuteen tulee paneutua. Vähävirtaiset palvelimet näkyvät kustannussäästöinä palvelinten suoran sähkönkulutuksen pienentyessä. Säästö näkyy myös välillisesti jäähdytystarpeen vähentyessä, kun konesalin lämpökuorma alenee. (Motiva 2010; Geng 2015, 32-33.)

6.13.1 Energy Star ja TCO Certified yhteensopivuus

Yhdysvaltain ympäristönsuojeluvirasto aloitti vuonna 1992 Energy Star -merkintäohjelman, jonka tarkoitus oli edistää energiatehokkaiden laitteiden kehittämistä. Sillä on määritellyt edellytykset laitteista, jotka kuluttavat vähemmän kuin mitä sen hetkiset viranomaisvaatimukset edellyttävät, yleensä säästö on vähintään 20-30 %. Alun perin ohjelma oli tarkoitettu vain kuluttajalaitteita varten, mutta myöhemmin tämä on levinnyt kattamaan mm. valaistusta ja toimistolaitteita. Nykyisin merkintä on otettu koskemaan myös datakeskuksiin tarkoitettuja laitteita. Lisäksi on kehitetty kokonaisia datakeskuksia käsittäviä arviointiohjelmia, joilla pisteytetään datakeskuksia erillisen ohjelman mukaisesti. (Motiva 2010c, 14–15; Energy Star 2017b; Energy Star 2017c; TCO 2017.)

TCO Certified on ruotsalaisen Tjänstemännens Centralorganisation -toimihenkilöammatijärjestön luoma merkintä, joka kiinnitti alun perin huomiota laitteiden energiatehokkuuden lisäksi ergonomiaan. Nykyisin kriteereihin on lisätty valmistuksen, käytön ja kierrätyksen arviointi. Yhdistyksen sertifiointitoiminta on aloitettu vuonna 1992. (TCO 2017.)

6.14 Konvergenssit järjestelmät

Jokaisessa IT-organisaatiossa päällimmäinen tavoite on järjestelmien yksinkertaisuus, luotettavuus ja sujuva ylläpito, joten konvergensseilla järjestelmillä (CI) on suurta kysyntää IT-ammattilaisten joukossa. Hyperkonvergenssin järjestelmän (HCI) periaatteena on yhdistää kaikki konesalien olennaiset osatekijät kuten esimerkiksi muisti, suoritin ja tallennustila. Koska ulkoisia tallennuslaitteita ei käytetä, erityistä tallennusverkkoakaan (SAN) ei tarvita. Pyrkimyksenä on suorituskyvyn parantuminen, ylläpidon määrän vähentyminen ja myös yhteensopivuusongelmien pitäisi kadota. (TechTarget 2017; Kolehmainen 2017; Rouse 2014.)

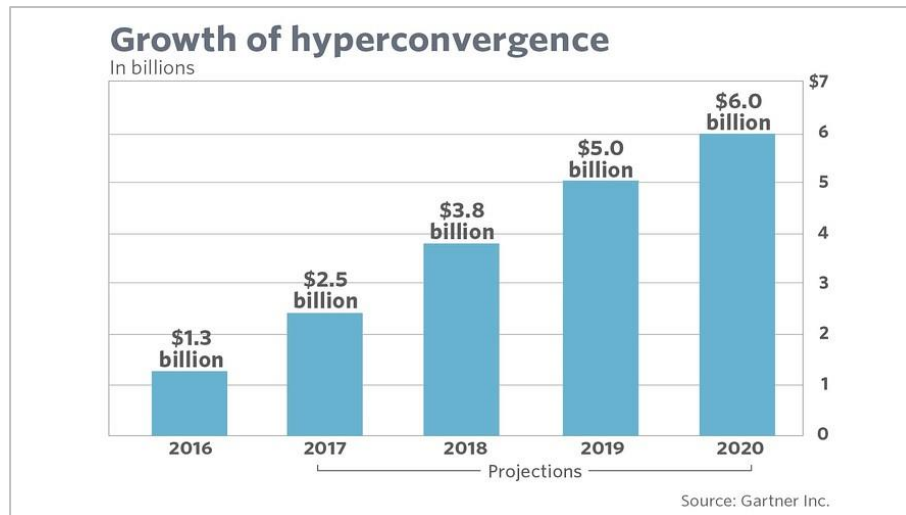
Hyperkonvergenssi järjestelmä on ohjelmistokeskeinen infrastruktuuri, joka integroi laskennan, tallennuksen, verkon ja virtualisoinnin resurssit tiukasti yhdeksi kokonaisuudeksi. HCI-järjestelmiä hallinnoidaan yhteisen työkalupakin avulla. HCI:tä voidaan laajentaa yksinkertaisesti lisäämällä samanlaisia noodeja perusyksikköön. Palvelimia ja työasemia ajetaan virtualisoituina. HCI -järjestelmä rakennetaan yleisistä, yhteensopivista ja edullisista komponenteista yhden toimittajan toimesta. Tavoitteena on yksinkertaisuus, joka alentaa käyttö- ja ylläpitokustannuksia. (TechTarget 2017; Kolehmainen 2017; Rouse 2014.)

HCI:n kehitys alkoi konvergenssista infrastruktuurista, jossa lähestymistapana oli toimittajan tarjoama ennakkoon määritetty paketti komponentteja ja ohjelmistoja, jonka tavoitteena on ennen kaikkea yhteensopivuusongelmien poistaminen ja ylläpidon helpottaminen. Kuitenkin tarvittaessa konvergenssi-infrastruktuuri on mahdollista purkaa osiin ja käyttää näitä osia itsenäisinä komponentteina. Hyperkonvergenssi järjestelmä taas on rakennettu siten, ettei sitä ole mahdollista purkaa osiin ja käyttää itsenäisinä rakenneosina. (Rouse 2014.)

Hyperkonvergenssin järjestelmän eduksi voidaan lukea mm. konesalilaitteiden määrän vähentyminen, joka pienentää tilantarvetta ja jäähdytystarvetta, lisäksi kaikki laitteet ovat yhteensopivia ja niitä hallitaan yhteisellä ohjelmalla, ja koska IT-arkkitehtuuri on selkeä, se tehostaa datan hallintaa. Lisäksi HC lisää energiatehokkuutta sekä vikasietoisuutta. Vaikka hyperkonvergenssi tarjoaa käytettävyyteen helpotusta ja säästöjä, se ei myöskään sovellu jokaiseen käyttötarkoitukseen. Toisinaan pelkkä konvergenssijärjestelmä voi olla parempi vaihtoehto. (Jääskeläinen 2017; TechTarget 2017.)

Tutkimuslaitos Gartner arvioi vuonna 2016, että seuraavan viiden vuoden aikana hyperkonvergenssien järjestelmien toimittamisesta tulee valtavirtaa. Vuonna 2019 markkinaosuus tulee olemaan jo 24 % eli 5 miljardia dollaria. Tämä kehitys saavutetaan syömällä muiden datakeskusteknologioiden osuutta. (Gartner 2016.)

Kuvassa 43 on ennustettu hyperkonvergenssien järjestelmien myynnin kasvaminen jopa 6 miljardiin dollariin vuoteen 2020 mennessä.



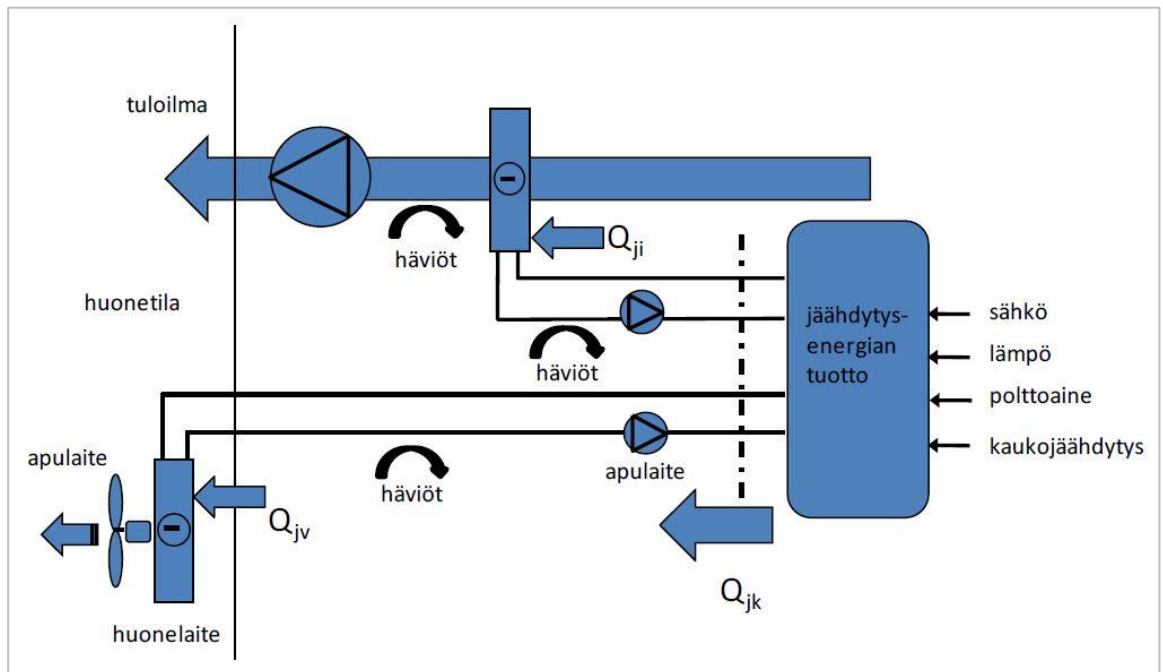
Kuva 43. Hyperkonvergenssien järjestelmien kasvuvauhti (Poletti 2017)

7 Jäähdytys

Rakennuksia, tiloja ja laitteita voidaan jäähdyttää joko viileällä ilma- tai vesivirralla. Näitä molempia voidaan myös käyttää yhtäaikaaisesti. Jäähdytyksen periaate näkyy kuvassa 44. Jäähdyttämiseen kuluva kokonaisenergia muodostuu jäähdytysenergian muodostamisesta kylmälaitekompressorilla, jäähdytystornilla tai muulla vastaavalla laitteella. Lisäksi energiaa kuluttavat apulaitteet, kuten esimerkiksi vesi- ja ilmapumput sekä säätölaitteistot. (Ympäristöministeriö 2011, 5).

7.1 Jäähdytyksen elinkaarikustannus

Jäähdytysjärjestelmää valittaessa ja kustannuksia laskettaessa on otettava myös huomioon se, että vesijäähdytteisten järjestelmien on tutkittu olevan elinkaareltaan lyhyempiä kuin ilmajäähdytteisten. Tämä johtuu veden kuluttavasta vaikutuksesta virratessaan putkistojen läpi. Haihtumista jäähdytyksen apuna käyttävissä järjestelmissä rajoittavana tekijänä ovat pinnat, jotka joutuvat kosketuksiin veden kanssa. Kuitenkin päällimmäisenä asiana kaikissa jäähdytysjärjestelmien elinkaaren kestossa on se, kuinka paljon järjestelmiä huolletaan niiden käyttöiän aikana. (Niemann, Bean & Avelar 2011, 11.)



Kuva 44. Periaatekuva jäähdytysjärjestelmästä (Ympäristöministeriö 2011, 5)

7.2 Jäähdytyksen älykäs ohjaus

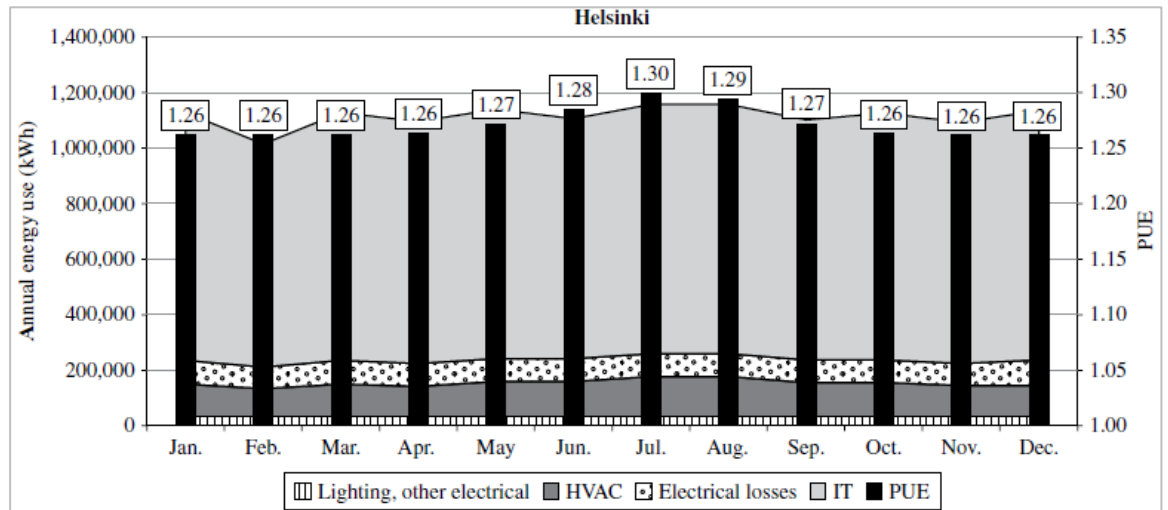
Jos käytössä on jäähdytyksen älykäs ohjaus ja dynaaminen jäähdytysjärjestelmä, jäähdytysenergian ohjaus automatisoituu ja energiaa säästyy. Aktiivisesti muuttuva ja älykäs jäähdytysjärjestelmä osaa säätää itseään jäähdyttämällä enemmän niitä osia, jotka tuottavat paljon lämpöä ja vähemmän niitä alueita, jotka pysyvät muutenkin viileämpinä. (Motiva 2011a, 7.)

7.3 Kaapeloinnin ja ristikytkentäkaappien jäähdytys

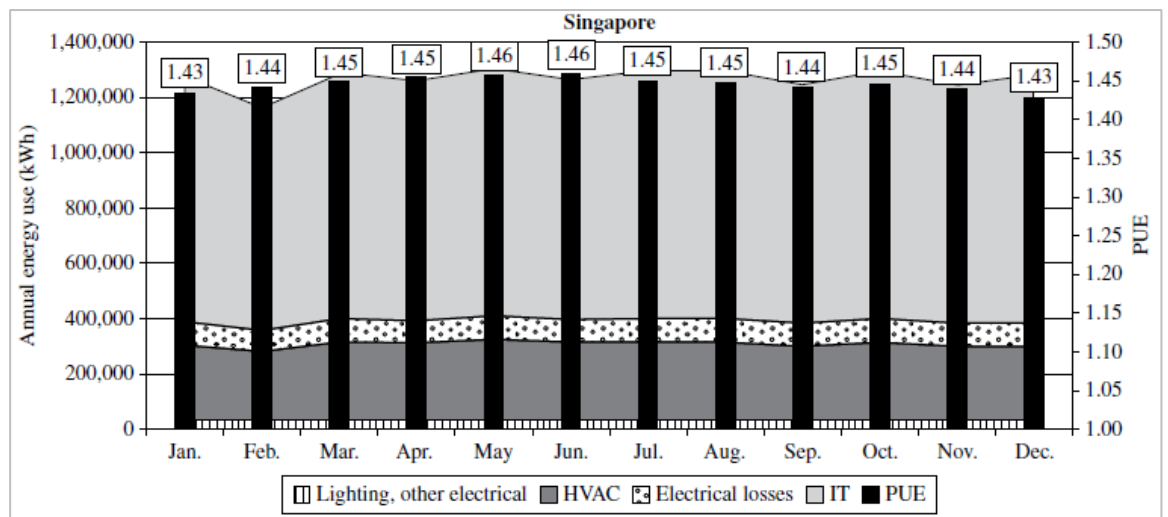
Yksi unohdettu osa-alue on atk-infran tarvitseman kaapeloinnin ja ristikytkentäkaappien suunnitelmallisesti toteutettu jäähdytys. Yleensä suunnitelma tehdään vasta sen jälkeen, kun vikaantumisia tai huomattavaa ylikuumenemista esiintyy. Aiemmin ei olekaan varsinaisesti ollut standardeja erityisesti atk-kaapelointien riittävää jäähdytystä varten. Kunnolliset määritykset varmistavat kuitenkin sen, että jäähdytys riittää ennakoituun kuormaan. Ne myös antavat yksiselitteiset ohjeet jäähdytyslaitteiden suunnitteluun ja asennukseen, estävät turhan ylityöajan ja maksimoivat energiatehokkuuden. Lisäksi määritykset varmistavat, että jäähdytys on sopiva ja joustava toimiakseen erikokoisissa ja -muotoisissa kaapeissa ja komeroissa. (Rasmussen & Standley 2007, 1-2.)

7.4 Ympäristön vaikutus jäähdytykseen ja PUE-arvoon

Seuraavissa kaavioissa näkyy, kuinka paljon ympäristön lämpötila vaikuttaa jäähdytyksen tehokkuuteen sekä samalla myös konesalien PUE-arvoon. Kuvissa 45 ja 46 näkyvät PUE-arvot Helsingistä ja Singaporesta vuoden aikana. Kuvista nähdään selvästi, että Helsingillä on PUE-arvon muodossa etu ympäristön viileydestä verrattuna Singaporeen. Kaaviossa alin palkki (Lightning, other electrical) tarkoittaa valaistuksen ja muun sähkönkulutuksen osuutta kokonaiskulutuksesta, seuraava palkki (HVAC) tarkoittaa lämmityksen, ilmanvaihdon ja ilmastoinnin osuutta, seuraava kerros (Electrical losses) tarkoittaa energiankulutuksen häviöitä virransyötössä ja UPS-laitteissa, ylin palkki (IT) kuvaa tietoteknisien laitteiden osuutta energiankulutuksessa. Musta palkki ja sen päällä oleva lukema kuvaa PUE-arvoa eri kuukausina. (Geng 2015, 23, 24.)



Kuva 45. Vuoden energiankulutus ja PUE-arvot Helsingissä (Geng 2015)



Kuva 46. Vuoden energiankulutus ja PUE-arvot Singaporessa (Geng 2015)

7.5 Jäähdytyksen energiatehokkuus

Energiatehokkaan jäähdytyksen periaate on, että tarkoitus ei ole viilentää laitteista syntyvää kuumaa ilmaa, vaan jäähdyttää itse lämpöä tuottavaa laitetta tai sen osaa ja siirtää siitä syntyvä kuuma ilma mahdollisimman tehokkaasti pois tilasta, ettei se sekoitu kylmään jäähdytysilmaan. Jos kuumen ja kylmän ilman sekoittumista tapahtuisi turhaan, niin se heikentää jäähdytysjärjestelmän hyötysuhdetta. (Motiva 2010, 9.)

Koska konesalien kulutuksesta merkittävä osa on jäähdytyksen aiheuttamaa, siitä on myös löydettävissä suuria ja joissakin tapauksissa yksinkertaisia mahdollisuuksia päästä

säästöihin nopeasti ja edullisesti. Joissakin konesaleissa suuremmat jäähdytyksen perusparannusratkaisut vaativat kuitenkin niin suuria rakenteellisia uudistuksia, että ne voivat olla helpoiten tehtävissä uuden konesalin käyttöönoton yhteydessä. (Motiva 2011a, 6.)

Merkittävimmät yksittäiset keinot konesalin jäähdytyksen tehokkuuden parantamiseen:

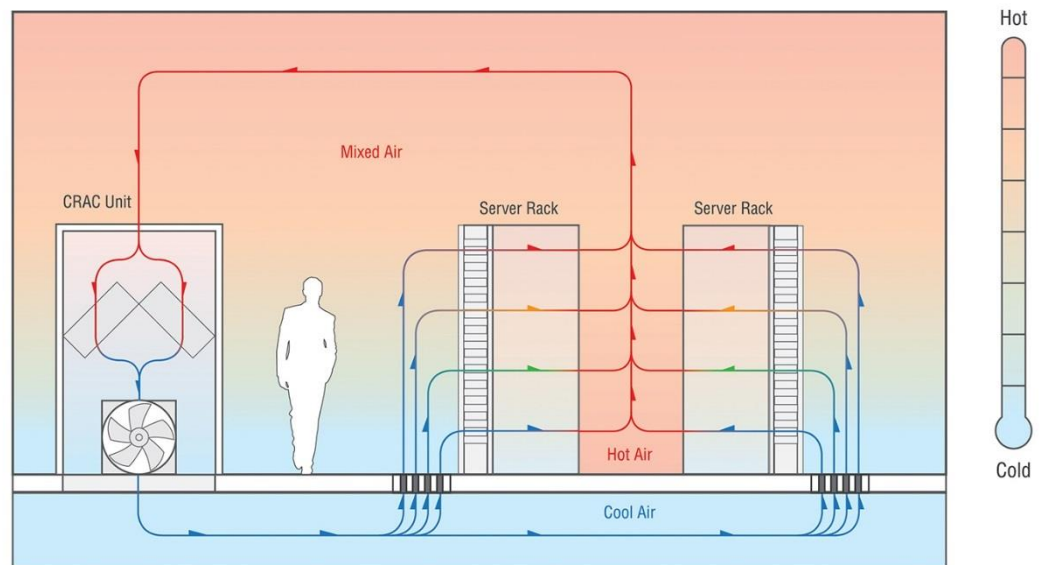
- 1) Palvelinten optimaalinen sijoittelu, johon liittyy selkeiden kylmä-kuumakäytävien rakentaminen
- 2) Jäähdytyksen ilmavirran kohdentaminen ja jäähdytyksen lämpötilaeron kasvattaminen
- 3) Keskitetyn ja dynaamisen jäähdytysratkaisun hyödyntäminen
- 4) Vapaajäähdytyksen hyödyntäminen eli hyödynnetään konesalin ulkopuolisen ympäristön kylmävarantoja
- 5) Hukkalämmön hyötykäyttö lämmitykseen
- 6) Nestejäähdytyksen hyödyntäminen (Motiva 2011a, 8; Motiva 2010, 7-8.)

7.6 Palvelinten optimaalinen sijoittelu sekä kuuma-kylmäkäytävät

Yleensä lämpöä kehittävät laitteet kannattaa sijoittaa yhteen tiiviisti, jotta jäähdytystä tarvitseva alue on kokonaisjäähdytystehoon nähden mahdollisimman pieni. Lisäksi jos palvelimet sijoitetaan erillisiin suljettuihin kaappeihin, niin tällöin muuta konesalin yleistä ilmatilaa ei tarvitse erikseen jäähdyttää, vaan jäähdytystehon voi suunnata suoraan jäähdytettäviin laitteisiin. Samalla alenee myös tilan melutaso, joka on sinällään työympäristön viihtyisyyttä lisäävä seikka. (Motiva 2011a, 8; Motiva 2010, 8; Geng 2015, 30-31.)

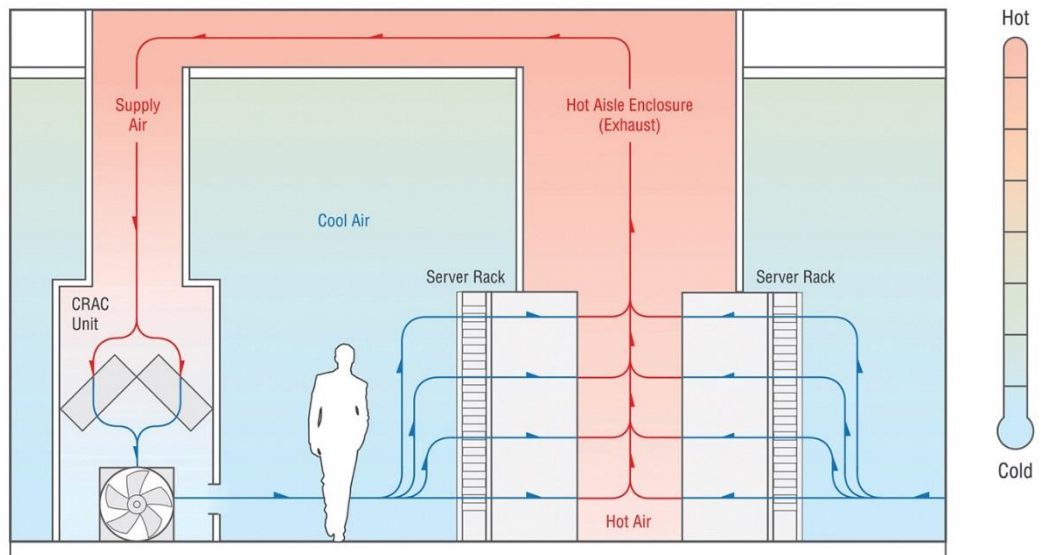
Perusohje palvelinten sijoittelussa on, että ne kannattaa sijoittaa selkeisiin kuuma-kylmäkäytäviin. Tällöin muodostetaan laitekaapeista rivistöt ”selät vastakkain”, joiden taakse jäävään kuumakäytävään laitteet puhaltavat kuuman jäähdytysilman. Tällöin palvelintelineiden etupuolella muodostuu kylmäkäytävä, jonne viilentävä ilmavirtaus johdetaan ja jossa henkilökunta voi työskennellä. Ei kannata sekoittaa kuuman ja kylmän ilman virtausta, koska tällöin kalliisti jäähdytetty kylmä ilma sekoittuu turhaan kuumaan ilmaan ennen kuin kylmä ilma ehtii jäähdyttää laitteita. Kuvassa 47 on vanhanaikainen, tehoton konesalin jäähdytys, jossa kylmä ja kuuma ilma sekoittuvat toisiinsa. Kuvassa 48 näkyy nykyaikainen, energiatehokas malli, jossa kylmät ja kuumat ilmavirrat on erotettu toisistaan ilmanohjauksella ja tunneloinnilla. (Motiva 2011a, 8; Motiva 2010, 8; Geng 2015, 30-31.)

Traditional Cooling Diagram



Kuva 47. Konesalin kylmä- ja kuumailmatila eivät ole erotettuja. (Sasser 2016)

Hot Aisle Enclosure Diagram



Kuva 48. Konesalin kylmä-kuumakäytävät ovat erotettuna. (Sasser 2016)

7.6.1 Konesalien suuret paikalliset lämpökuormat

Konesaleissa voi muodostua servereistä ja muista kojeista johtuen suuria paikallisia lämpökuormia (Hot spot), minkä vuoksi laitteet vaativat tehokasta viilennystä. Hot spot tarkoittaa lämpötilan paikallista vaihtelua konesalissa. Se voi johtua liian tiiviisti asennetuista laitteista, ilmankierron puutteista tai jäähdytyslaitteiston alimitoituksesta. Vastakohta tälle on Cold spot, kylmä piste, joka voi johtua liian väljästä asettelusta tai suuresta jäähdytys-tehosta, jolloin jäähdytys toimii turhan tehokkaasti ja kuluttaa tarpeettomasti energiaa. (Poikonen 2010, 35 Geng 2015, 31.)

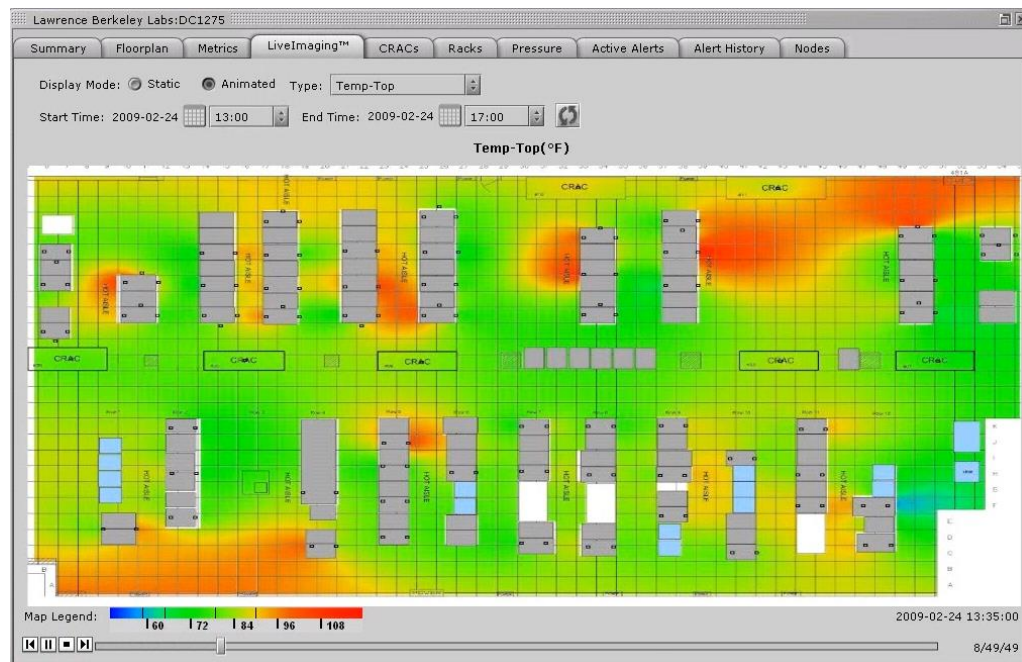
Useimmiten konesalien jäähdytysjärjestelmät tehdään erilleen rakennuksen muista jäähdytysjärjestelmistä. Vaikka lämpökuormat eivät useinkaan saavuta huippuaan, kannattaa jäähdytysjärjestelmä silti määrittää nykytarvetta suuremmaksi, koska palvelimien elinkaari on yleensä vain puolet jäähdytyslaitteiden elinkaaresta. Tällöin lisättäessä tai uudistettaessa atk-laitteita tehokkaampiin, enemmän lämpöä tuottaviin, jäähdytystä ei tarvitse uusia, koska sen reservi selviää kuormituksen noususta. Kuvassa 49 näkyy erään konesalin lämpökarttakuvassa samaan aikaan konesalissa mitattu sekä kuumapiste (oranssi väri) että kylmäpiste (sininen väri). Tämä ongelma olisi mahdollisesti korjattavissa siirtämällä kuumapisteestä laitteita kylmäpisteeseen, jolloin lämpötilaerot tasoittuisivat eikä jäähdytystä tarvitsisi turhaan lisätä kuumapisteessä. (Poikonen 2010, 35 Geng 2015, 31.)



Kuva 49. Lämpökarttakuva konesalin kuum- ja kylmäpisteestä (Greentelecomlive 2009)

7.6.2 Konesalien liiallinen jäähdytys

Kannattaa sijoittaa hyvin kuumana toimivat korttipalvelimet tasaisesti eri kaappirivistöihin, jolloin yhteen kaappirivistöön ei kohdistu liian suurta lämpökuormaa. Muutoin tämä voi tarkoittaa sitä, että yhden laitekaapin liiallisen kuumentumisen takia tarvitaan jäähdytyksestä korkeaa tehoa, joka kohdistuu tarpeettomasti niillekin laitekaapeille, jotka eivät sitä tarvitse. Palvelimien optimaalisella sijoittelulla voidaan jakaa erityisen kuumia laitteita eri kaappeihin, jolloin koko palvelintilan jäähdytyksen käyttö tasoittuu mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön. Kuvassa 50 näkyy lämpökartta konesalista, jossa ei ole kuuma-kylmäkäytäviä, vaan kuuma ja kylmä ilma sekoittuvat vapaasti, joten sinne voi muodostua myös Hot spotteja. Tämä tarkoittaa sitä, että koko konesalin jäähdytysteho on lisättävä yksittäisten laitekaappien korkeiden lämpötilojen vuoksi. (Motiva 2011a, 8; Motiva 2010, 8.)



Kuva 50. Lawrence Berkeley National Laboratory -konesalin lämpökartta (LBNL 2016a)

7.7 Jäähdytysilman kohdistus ja jäähdytyksen lämpötilaeron kasvattaminen

Jäähdytysilmavirta kannattaa kohdistaa suoraan sinne missä sitä tarvitaan. Kuuma ilma kannattaa poistaa välittömästi tilasta, ettei se sekoitu turhaan jäähdytysilmaan ja heikennä sen tehoa. Kuumen ilman ja jäähdytysilman lämpötilaeroa kannattaa kasvattaa, koska sillä saavutetaan suurempi jäähdytyksen huipputeho. Tämä mahdollistaa pienemmän

jäähdytysjärjestelmän rakentamisen konesaliin, jolloin hyötysuhde paranee. Konesalin ilmankiertoa kannattaa tarkastella huolella, jotta ilmavuodot saadaan tukittua ja huonosti ohjatut ilmavirrat saadaan johdettua oikeisiin paikkoihin. Ilmankierron optimointi vaatii huolellista suunnittelua ja lämpötilan jatkuvaa mittausta useissa paikoissa ympäri konesalia. (Motiva 2010, 9.)

7.7.1 Jäähdytystehon alentaminen tuo säästöjä

Jäähdytyksen energiankulutuksen vähentämiseen voi löytyä yksinkertaisia keinoja. Perinteisesti konesalien jäähdytys on ollut huonelämpötilaa vastaava. Jäähdytystä alentamalla konesalin lämpötilaa voi nostaa 21 °C asteesta 26 asteeseen ilman, että laitteiden toiminta tai luotettavuus vaarantuu. Jos käytössä on vesijäähdytys, sama voidaan tehdä jäähdytysvedelle nostamalla sen lämpötilaa normaalista 10 °C asteesta 20 asteeseen. Pelkäämään näillä toimenpiteillä on vaikutusta energiankulutukseen. (Motiva 2011a, 6.)

Uusimmilla ASHRAE-yhdistyksen ja laitevalmistajien tekemillä suosituksilla lämpötiloja voidaan nostaa vieläkin enemmän. Datakeskuslaitteita asentavan 42U -yrityksen sekä energiatehokkaita laitteita arvioivan Energy Star -organisaation mukaan Brandonin (2007) tutkimuksessa on laskettu, että 1°F lämpötilan nosto konesalissa tuo noin 4-5 % säästön energiankulutuksessa (1°F = 0,556 °C ja 1 °C = 1,8 °F). Lisäksi useat laitevalmistajat kuten Sun, Dell, IBM ja NetAppStorage sallivat mm. blade -servereissään lämpötilan noston 90 °F tai jopa 104 °F asteeseen, joka vastaa 32-40 °C. (42U 2017; Energy Star 2017d.)

7.8 Keskitetty ja dynaaminen jäähdytysjärjestelmä

Nykyiset energiatehokkuuden vaatimukset edellyttävät keskitettyä jäähdytysjärjestelmää, jolla on korkea hyötysuhde ja mukautuvuus. Keskitetty jäähdytysjärjestelmä on parempi kuin monta pientä erillistä jäähdytysjärjestelmää, koska keskitetyn jäähdytysjärjestelmän hyötysuhde on yleensä parempi. Keskitetyn järjestelmän hyötysuhde, suorituskyky ja toimintavarmuus ovat paremmat kuin yksittäisillä pienillä järjestelmillä, koska etenkin osakuormilla keskitetty järjestelmä toimii paremmin. Dynaaminen ja älykäs jäähdytysjärjestelmä osaa mukautua äkillisiin jäähdytystarpeen muutoksiin paremmin kuin perinteinen järjestelmä, joka osaa toimia vain kokonaistehon lisääjänä. Dynaaminen järjestelmä osaa kohdistaa jäähdytystehoa paremmin konesalissa sinne missä sitä tarvitaan ja vähentää sieltä missä sille ei ole niin paljon tarvetta. (Motiva 2011a, 7; Motiva 2010, 9.)

7.9 Vapaajäähdytys on energiatehokkain jäähdytys

Vapaajäähdytys tarkoittaa sitä, että käytetään hyödyksi konosalirakennuksen ulkopuolella sijaitsevaa viileää energialähdettä jäähdyttämiseen. Tämä on hyvin energiatehokas jäähdytysmuoto, koska tällöin ei tarvitse käyttää koneellista ja paljon sähköenergiaa vaativaa prosessia ilman tai veden jäähdyttämiseen. Vapaajäähdytykseen voidaan käyttää kylmää ulkoilmaa, järvi- tai merivettä tai geotermistä viilennystä. (Motiva 2011a, 8; Motiva 2010, 9 - 10 Geng 2015, 28.)

Yksinkertaisimmillaan tätä voi hyödyntää talvella kylmän pakkasilman avulla. Tällöin jäähdytysilmaa ei tarvitse jäähdyttää koneellisesti ja energiaa kuluu vain puhaltimiin, jotka siirtävät ilmaa konosalin sisälle ja ulos. Vesijäähdytyksessä toiminta on hyvin samankaltaista. Jäähdytysputkistossa lämmennyt vesi viilennetään ulkona ja kierrätetään takaisin sisälle jäähdytyskennoihin, jossa sen ilmavirta jäähdyttää konosalin palvelimia. (Motiva 2011a, 8; Motiva 2010, 9 - 10 Geng 2015, 28.)

Vapaajäähdytys on lähes ilmainen jäähdytyselementti Suomessa, jossa on etuna pitkä, kylmä talviaika. Vapaajäähdytystä voidaan siis pitää Suomen etuna, koska meillä riittää yli puolet vuodesta riittävän kylmää ulkoilmaa tai vettä jäähdytysjärjestelmän tarpeisiin. Tämä viilentävä elementti voidaan syöttää suoraan järjestelmän jäähdytyskennoihin, jolloin suuren energiamäärän tarvitseva, kompressorilla tehtävä kennojen kylmennys jää pois. (Motiva 2011a, 8; Motiva 2010, 9 - 10 Geng 2015, 28.)

7.10 Hukkalämmön hyödyntäminen ja kaukokylmä

Palvelin- ja konosalilaitteet eivät ole hyötysuhteeltaan kovin hyviä lämmönlähteitä eikä niitä sellaisiksi ole tarkoitettu. Hukkalämmön hyödyntämisessä on vielä kehitettävää, vaikka palvelinsalit tuottavatkin sinänsä paljon lämpöä. Jos palvelinrakennuksen muita tiloja joutuu lämmittämään jollakin energialähteellä, voisi sen lähde hyvinkin olla oman konosalin lämpö. Jos lauhdutuslämmön voi syöttää lämmitystä tarvitsevan rakennuksen lämmönvaihtimeen, tämä laskee suoraan ostettavan lämmitysenergian tarvetta ja samalla pienentää lämmityslaskua. Uusimmissa konesaleissa tätä vaihtoehtoa on mietitty ja joitakin tiloja jo lämmitetään konosalin hukkalämmöllä. (Motiva 2010, 11.)

Jos konesalin voi yhdistää paikallisen energiayhtiön kaukolämpöverkkoon, samalla olisi mahdollista hoitaa sekä lämmönsiirto pois sekä kylmän tuonti konesaliin. Kaukokylmä toimii samalla periaatteella, mutta käänteisesti kuin kaukolämpö. Keskitetty, lämmön ja kylmän yhdistävä ratkaisu on tässäkin kokonaishyötysuhteeltaan parempi kuin yksittäiset ratkaisut. Vanhoissa konesaleissa tämä voi olla hankala toteuttaa, mutta uusien suunnitelmilla tämä kannattaa ottaa ehdottomasti huomioon. (Motiva 2011a, 9.)

7.11 Nestejäähdytys

Jäähdytystehon parantamiseen on kehitetty nestejäähdytystekniikka. Tällä on merkittävä etu ilmajäähdytykseen verrattuna, koska nesteen lämmönjohtokyky on jopa 3500 kertaa parempi verrattuna ilmajäähdytykseen. Jäähdytykseen voidaan käyttää vettä tai jotain kylmäainetta. Lisäksi lämpöä voidaan siirtää ilmasta nesteeseen hyvin lähellä lämmönlähdettä verrattuna ilmajäähdytykseen, jossa ilmavirtoja täytyy siirtää hyvin pitkiä matkoja putkistoja tai ilmastointikanavia pitkin. Nestejäähdytyksessä jäähdytys suuntautuu tarkasti varsinaiseen tavoitteeseen eli palvelimiin ja muun ilmatilan turha viilennys pysyy vähäisenä. Nestejäähdytys sopii hyvin suuriin ja tiheisiin laitekaappien lämpökeskittymiin. Laitekaappeihin suunnattu nestejäähdytys myös helpottaa johdonmukaisten kuuma- ja kylmäkäytävien rakentamista. Lisäksi on huomioitava, että nestejäähdytyksessä vapaajäähdytyksen tuoma etu on vielä suurempi kuin ilmajäähdytteisessä vapaajäähdytyksessä, koska tällöin saadaan laitetiheyttä nostamalla etua pienemmästä huonetilasta. (Motiva 2011a, 9; Motiva 2010, 11 Geng 2015, 31-32, 489-491; Stengård 2014, 18.)

Kuvassa 51 vertaillaan jäähdytyksen energiatehokkuutta ilman, veden ja jäähdytysneste R134a:n välillä. Mittaukset osoittavat [sarake Total (W)], että vesi on 50 % energiatehokkaampi jäähdyttimen väliaine kuin ilma ja jäähdytysneste R134a on peräti 90 % tehokkaampi kuin ilma jäähdyttimen väliaineena. (Geng 2015, 492.)

	Density (lb/cu ft)	Specific heat (BTU/lb)	States	ΔT (°F)	lb/min/ton	CFM/ton	Static press (PSI)	Req. Watts	Fan/Pump efficiency (%)	Total (W)	% of load
Air (std day)	0.075	0.205	Gas-gas	18	54.11	722	0.036	84.6	30	282	8.0
Water @ 50°F	62.45	0.998	Liquid-liquid	9	22.27	0.36	35	40.6	30	135	3.8
R134a @ 95°F	72.94	72	Liquid-gas 30%	0	9.26	0.13	20	8.3	30	28	0.8

Kuva 51. Vertailu väliaineen lämmönsiirron tehokkuudessa ilman, veden ja R134a jäähdytysnesteen välillä (Geng 2015, 492)

8 Ammattikorkeakoulun tietojärjestelmälaboratorion opiskelijakäyttöinen konesali

Kajaanin ammattikorkeakoulun tietojärjestelmälaboratorion uudistettu konesali (myöh. DC-labra) valmistui vuonna 2011 osittain EU-rahoituksen voimin. Sen jälkeenkin sinne on hankittu uutta laitteistoa, enimmäkseen lahjoituksin. Kuvassa 52 sekä kansikuvassa näkyy luokassa sijaitseva konesali äänieristettyjen seinien ja lasien takaa.



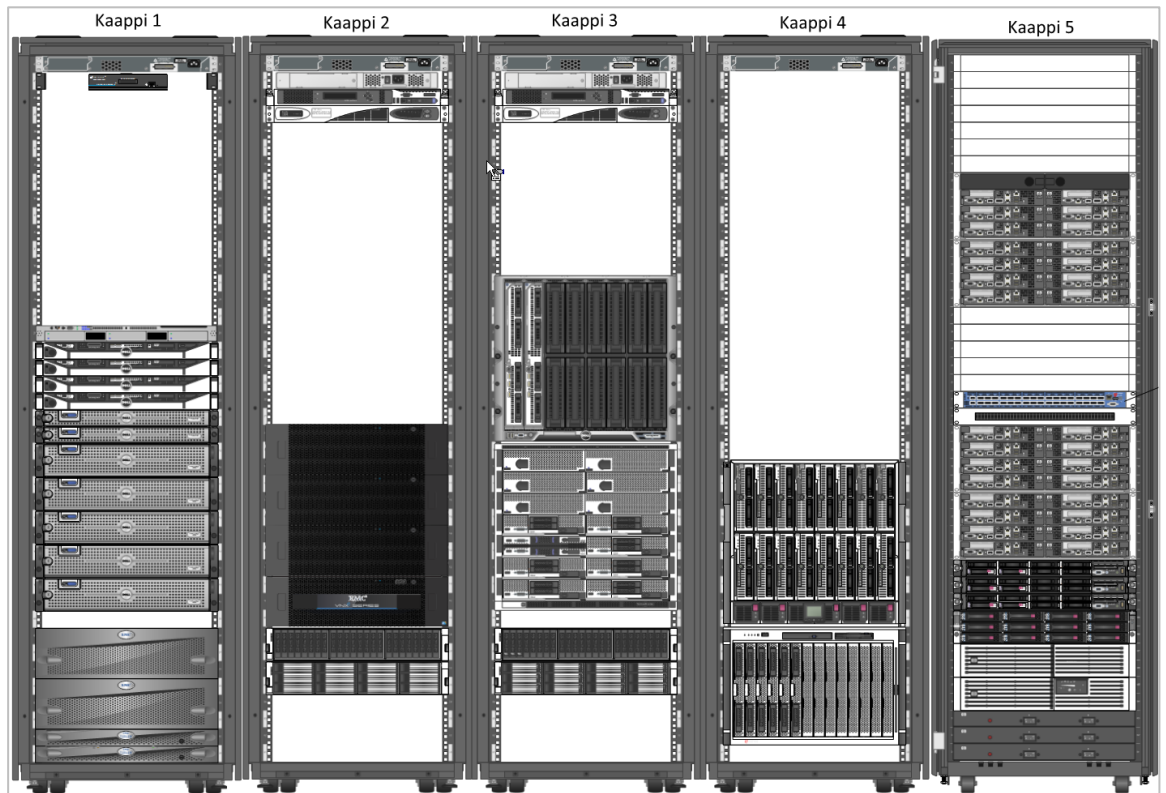
Kuva 52. KAMK:n tietojärjestelmälaboratorion konesali (Karjalainen 2017)

DC-labrassa virtaa kuluttavat viisi laitekaappia, jäähdytyslaitteisto, kolmivaihevirransyöttö ja UPS-varavirtalaitteisto. Laitekaapeista ei voitu tehdä virrankulutusmittauksia. Ainoastaan uusimman laitekaapin eli CSC:ltä lahjoituksena saadun Kaappi nro 5:n virrankulutukseksi sen aiempi omistaja on ilmoittanut noin 13 ampeeria/vaihe. (Möttönen 2017.)

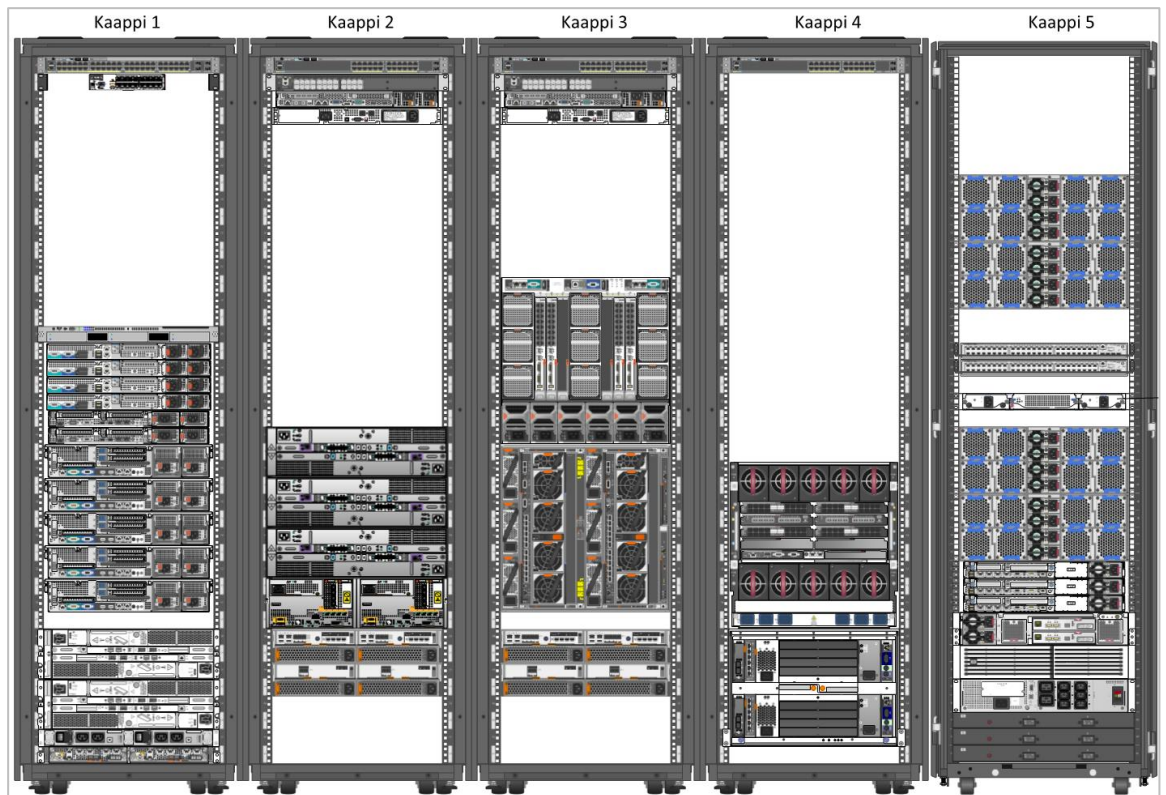
Laskemalla tästä saadaan: $(13 \text{ A} * 3 \text{ vaihe}) * 230 \text{ V} = 8970 \text{ W} \approx 9 \text{ kW}$.

Kaappi nro 5 käytännön tehonkulutukseksi saadaan siis noin 9 kW. Tätä tietoa käytetään hyväksi myöhemmin laskettaessa sähkönsäästöjä. Oppilastyönä on laskettu Kaapin nro 5 kaikkien laitteiden teoreettiseksi maksimivirrankulutukseksi noin 22 kW. Ero tuotanto-käytössä olevan laitteiston tehonkulutuksessa ja laitteiden teoreettisessa maksimikulutuksessa on yli kaksinkertainen. Tämä kannattaa pitää mielessä mietittäessä esim. konesalin virransyötön tai jäähdytyksen kapasiteetin mitoittamista. (DCJako 2017.)

Seuraavissa kuvissa 53 ja 54 ovat DC-labran konesalin laitekaapit Visio -ohjelmalla oppilastyönä piirrettynä. Piirroksat ovat *.vsdx muodossa, jotka näkyvät myös Internet Explorer -selaimen lisäosan tai LibreOffice Draw -piirrosohjelman avulla. (DCJako 2017.)



Kuva 53. Tietojärjestelmälaboratorion konesalin laitetelinekaapit edestä (DCJako 2017)



Kuva 54. Tietojärjestelmälaboratorion konesalin laitetelinekaapit takaa (DCJako 2017)

Virtaa kuluttaa myös jäähdytyslaitteisto. Koska uusien konesalilaitteistojen ja kulutusmitareiden asennusten viivästyminen vuoksi varsinaisia virrankulutusmittauksia ei päästy suorittamaan opinnäytetyön puitteissa, tehdään tässä vain arvioon perustuvia laskelmia. Kuvassa 55 näkyy konesalin jäähdytyslaitteisto laitekaappirivistön päässä.

Jäähdytyslaitteiston tyyppikilpi antoi mm. seuraavat tiedot maksimitehonkulutukseksi:

Compressor (=kylmäkompressori) 9,26 kW ja Fan (=puhallin) 5,6 kW.

Lisäksi huoltokirjasta löytyi tiedot, että jäähdytinlaitteisto on käynnistetty ensimmäistä kertaa 30.9.2010 ja säätötoimenpiteenä 16.11.2010 puhallinnopeutta on laskettu 61 %:sta 57%:iin. Seuraava huolto sille tehtiinkin 9.1.2017, koska laitteiston jäähdytysteho oli laskenut lähes nolnaan neulaventtiilien vuodettua kylmäainetta ulos painejärjestelmästä. Kylmäainetta lisättiin huollossa 10 kg, joka on puolet aineen kokonaismäärästä.

Tehdään oletus, että 57% puhallinnopeus vastaa myös tehonkulutusta, joten kulutus on:

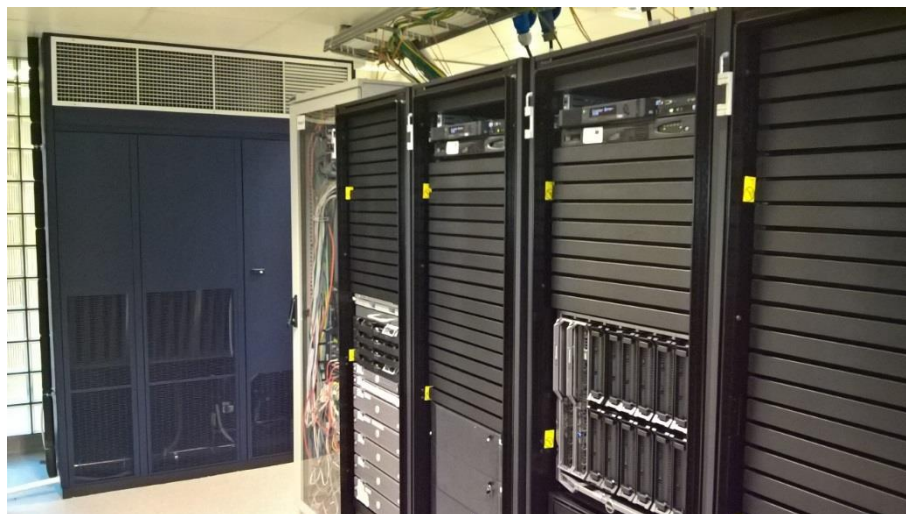
$$5,6 \text{ kW} * 0,57 = 3,19 \text{ kW}.$$

Tehdään lisäksi oletus, että kylmäkompressori nykyisellään toimii vain puolella teholla maksimitaan, joten laskutoimitus tuottaa tuloksen:

$$9,26 \text{ kW} * 0,5 = 4,63 \text{ kW}.$$

Jäähdytyslaitteiston nykyiseksi kokonaiskulutusarvioksi saadaan yhteenlaskettuna siis

$$3,19 \text{ kW} + 4,63 \text{ kW} = 7,82 \text{ kW}.$$



Kuva 55. Jäähdytyslaitteisto DC-labrankonesalissa (Karjalainen 2017)

UPS-laitteisto ja virransyöttö eivät kuluta paljon virtaa toimiakseen, mutta ne kuluttavat jonkin verran virtaa sisäisiin häviöihin. Kuvassa 56 näkyy UPS-laitteisto konesalissa.



Kuva 56. Eaton 9355 UPS-laite DC-labran konesalissa (Karjalainen 2017)

Tekniset tiedot kertovat, että perusasetuksilla ja täydellä kuormalla Eaton 9355 UPS:n hyötysuhde on 92 % eli häviöt ovat 8 %. Puolikuormalla hyötysuhde heikkenee 90 %:iin eli häviöt ovat 10 %. Eatonissa on myös valmistajan ”High Efficiency Mode” eli korkean tehokkuuden tila, jolloin hyötysuhde on 98 % eli häviöt ovat vain 2 %. Kuvassa 57 ote Eaton 9355 teknisistä tiedoista, josta saadaan laskelmiin maksimikulutuslukemat. (Eaton 2009, 2.)

Eaton 15 kVA -varavirtalaitteen syöttämä energiamäärä vuodessa voi maksimissaan olla:

$$13,5 \text{ kW} * 24 \text{ t} * 365 \text{ vrk} = 118\,260 \text{ kWh/vuosi}$$

Eaton 9155/9355 UPS 8-15 kVA				
TECHNICAL SPECIFICATIONS				
UPS output power rating (0,9 p.f.)				
kVA	8	10	12	15
kW	7,2	9	10,8	13,5

Kuva 57. Kuvakaappaus Eaton teknisistä tiedoista (Eaton 2009, 2)

9 Ehdotuksia toimenpiteiksi KAMK:n tietojärjestelmälaboratorion konesaliin

Ehdotuksena DC-labran konesalilaitteiden energiasäästötoimenpiteiksi olen kerännyt tähän edullisia, kohtalaisen helposti käyttöönotettavia toimenpiteitä, joilla on mahdollisuus saavuttaa pitkäaikaisessa käytössä aivan varteenotettavia säästöjä. Esimerkiksi säätämällä laitteistoja, kuten jäähdytyksen lämpötilaa nostamalla, ilmankierron esteitä poistamalla ja ilmavirtoja ohjaamalla sekä VMwaren hypervisor-ohjelmiston omia virransäästötoimintoja hyödyntämällä ja optimoinnilla. Näin tehdyillä, päällisin puolin ehkä pieniltäkin näyttäviltä muutoksilla voi olla mahdollista säästää merkittäviä summia. Lasketaan seuraavilla esimerkeillä mitä säästöt voisivat olla näillä kulutuslukemilla ja sähköhinnoilla.

9.1 Laitekaappien energiankulutus

Jotta päästään laskemaan ehdotusten tuomia säästöjä, pitää jollakin tavalla oli ensin laskea konesalin viiden IT-laitekaapin laitteiden kesikukulutus. Jotkin IT-laitekaapit voivat arvioni vastaisesti kuluttaa enemmän, jotkut vähemmän, mutta kuitenkin on toimittava arviolukemilla. Näissä laskelmissa en ota vielä jäähdytys- enkä UPS-laitetta mukaan sähkönkulutukseen. Mutta hyödyntämällä laskelmissa konesalin IT-laitteita sisältävien kaappien arvioituja sähkönkulutuksia, tuloksista voidaan tehdä jo johtopäätöksiä.

DC-labran Kaappi nro 5 sähkönkulutukseksi tuotantokäytössä on aiemmin kerrottu mitatun noin 9 kW. Teen oletuksen, että muut neljä kaappia kuluttavat vain noin kolmasosan tuosta kulutuksesta eli 3,3 kW. Tämä päätelmä sen vuoksi, että UPS-laite ei pysty syöttämään enempää virtaa kuin edellisellä sivulla lasketun, 118 260 kWh/vuosi, oletuksen verran. Laitteet ovat tämän hetken käyttöprofiiliin mukaan päällä 24 t/vrk ja 365 päivää vuodessa. Neljä kaappia siis kuluttavaa yhteensä:

$$4 * 3,3 \text{ kW} * 24 \text{ t} * 365 \text{ vrk} = 115\,632 \text{ kWh/vuosi}$$

Kaappi nro 5:n kulutukseksi lasketaan puolet sen oikeassa tuotantokäytössä olleesta 9,5 kW kulutuksesta eli 4,5 kW, joten oletetaan tämän kaapin kuluttavan vuodessa:

$$4,5 \text{ kW} * 24 \text{ t} * 365 \text{ vrk} = 39\,420 \text{ kWh}$$

Yhteenlaskussa nämä viisi kaappia yhdessä siis kuluttavat:

$$115\,632 \text{ kWh} + 39\,420 \text{ kWh} = 155\,052 \text{ kWh}$$

Lasketaan sähkökulutuksen hinta Oulun seudun sähköyhtiön laskurilla, koska paikallisella Loiste sähköyhtiöllä ei ollut vastaavaa kokonaishintalaskuria. Oulun sähkön laskuri antoi seuraavat arvot: Yleissähkön energian hinta on 5,59 snt/kWh ja siirtohinta 5,57 snt/kWh. (Oulun seudun sähkö 2017; Loiste 2017.)

Energiamaksu: 8 697,65 €/vuosi. Lisäksi siirtomaksu: 8 699,21 €/vuosi.

Yhteensä energianhinta: 17.397 €/vuosi.

Voidaan tasapuolisuuden nimessä todeta, että Loisteella on korkeampi siirtohinta (6,95 snt/kWh) kuin Oulun seudun sähköyhtiöllä, mutta alempi sähkönhinta (4,64 snt/kWh) eli Loisteen vuosihinnaksi muodostuu 18 006,164 €. Erotus Oulun hyväksi 609,30 €/vuosi. Molemmilta yhtiöiltä saa myös 100 % uusiutuvaa sähköä. Hinnat sisältävät verot ja kuukausimaksut. (Oulun seudun sähkö 2017; Loiste 2017.)

9.2 VMware vCenter -ohjelmiston sisäänrakennetut virransäästötoiminnot

VMware vCenter ohjelmistossa olevat sisäänrakennetut kuormantasaus- ja virransäästötoiminnot DRS, DPM ja HPM kannattaa ottaa käyttöön. VMware on omissa laskelmissaan saanut jopa 20 %:n energiankulutuksen laskun, kun vCenterin kaikki mahdolliset energiansäästötoimenpiteet ovat käytössä. Kun viikonloppuisin ja öisin käytössä on pieni kuormitus, näiden järjestelmien avulla konesali voi pyöriä todella vähäisillä resursseilla. Tämä tulee suoraan vähentämään laitteiden virrankulutusta, joka merkitsee myös vähemmän turhaa lämpöä ja myös vähemmän jäähdytystehoa. (VMware 2017b).

DRS eli Distributed Resource Scheduler tarkoittaa keskitettyä resurssien jakamisen hallintaa. Se on VMwaren vCenter -ohjelmistossa käytetty hostien välinen kuormantasauksen hallinta. Asetus voi olla manuaalinen, puoli- tai täysautomaattinen. Tämä toiminto pitää olla ensin päällä ennen kuin pääsee säätämään DPM ja HPM -virransäästötoimenpiteitä. (VMware 2013; VMware 2017; VMware 2017b; VMware 2017c.)

DPM (Distributed Power Management). Tarkoittaa keskitettyä virranhallintaa. Se on VMware vCenter -ohjelmistossa käytetty virransäästötoiminto, joka vähäisen resurssien tarpeen aikana siirtää virtuaalikoneita toisille hosteille ja asettaa sitten tarpeettomat hostit lepotilaan. Hostit herätetään, kun resursseja taas tarvitaan. Asetettu vähimmäisaika tälle toimenpiteelle on vähintään viisi minuuttia. (VMware 2013; VMware 2017; VMware 2017b; VMware 2017c.)

Toinen virransäästötoiminto eli HPM (Host Power Management) on hostien virranhallinta. Se on VMware vSphere -ohjelmiston virransäästötoiminto, joka asettaa hostin laitteiston tai osia siitä alennetun tehon tilaan, silloin kun niiden ei tarvitse toimia täydellä teholla. Alennetun tehon tilat voivat kestää vain millisekunteja, joten HPM yrittää ottaa säästöjä jo lyhyistäkin toimettomista hetkistä. (VMware 2013; VMware 2017; VMware 2017b; VMware 2017c.)

Molempia toimintoja eli DPM:ää ja HPM:ää voidaan käyttää yhtä aikaa. Ne eivät ne pois sulje toisiaan vaan ne täydentävät toisiaan, koska ne yhdessä toimien voivat säästää enemmän energiaa kuin itsenäisesti. (VMware 2013.)

Energiansäästö tällä toimenpiteellä, kun energianhinta on vuodessa 17.396,86 € ja siitä ohjelmistovalmistajan lupaama 20 % säästö tarkoittaa siis:

$$155\,052 \text{ kWh} * 20 \% = 31\,010 \text{ kWh/vuosi} \quad \text{ja} \quad 17\,396,86 \text{ €} * 20 \% = 3.479 \text{ €/vuosi}$$

Jos ollaan pessimistisiä ja ajatellaan, että VMware liioittelee omia energiasäästömahdollisuuksiaan eikä säästö olekaan kuin 10 %, niin säästö on:

$$155\,052 \text{ kWh} * 10 \% = 15\,505 \text{ kWh/vuosi} \quad \text{ja} \quad 17.396,86 \text{ €} * 10 \% = 1.740 \text{ €/vuosi}$$

Voidaan todeta, että tuloksena merkittävä säästö pelkillä VMwaren ohjelman toiminnallisilla säädöillä.

9.3 Jäähdytyksen energiankulutus

Jäähdytys on tämän hetken käytön mukaan päällä 24 t/vrk ja 365 päivää vuodessa, joten laskutoimitus tuottaa aiemmin todettuun kulutusarvioon perustuen tulokseksi:

$$7,82 \text{ kW} * 24 \text{ t} * 365 \text{ vrk} = 68\,503 \text{ kWh}$$

Sähkönhintaa laskettaessa käytetään tässäkin Oulun seudun sähkön laskuria: yleissähkön energian hinta on 5,59 snt/kWh ja siirtohintaa 5,57 snt/kWh.

Energiamaksu: 3.859,56 €/vuosi. Lisäksi siirtomaksu: 4.025,56 €/vuosi.

Yhteensä energianhinta: 7.885 €/vuosi

9.3.1 Kylmä- ja kuumakäytävillä saavutettava säästö

Kylmä- ja kuumakäytävien rakentaminen DC-labran konesaliin on ollut esillä tietojärjestelmäopettajien ja -opiskelijoiden puheenaiheena siitä lähtien, kun uusi DC-labran konesali rakennettiin. Tällä olisi saavutettavissa kohtuullisin kustannuksin suuriakin säästöjä. Tätä on aiemmin kokeiltu edeltävien opiskelijoiden toimesta kevyillä rakenteilla (rakenusmuovi, rimat) ja lämpötilan on huomattu laskevan kylmällä puolella karkeasti noin 3 °C. Voidaan päätellä, että kylmän jäähdytysilman lämpötilaa voidaan nostaa ainakin 3 asteen verran. (Tolonen 2017.)

Aiemmin kerrotun (kappale 7.7.1) perusteella tiedämme, että 1 °F lämpötilan nosto jäähdytysilmassa tuo suoraan 4-5 % säästön energiankulutuksessa. (Energy Star 2017d.)

Tämän perusteella voidaan laskea, että energiansäästö tällä toimenpiteellä on:

$$4 \% * (3^{\circ}\text{C} * 1,8) \approx 21 \% \qquad \text{tai} \qquad 5 \% * (3^{\circ}\text{C} * 1,8) \approx 27 \%$$

Energianhinnaksi on aiemmin laskettu vuodessa 7.885,12 € ja siitä saatu 3 °C jäähdytystehon vähennys voi tarkoittaa siis noin 21-27 % säästöä. Lasketaan tulos alemman säästöodotuksen eli 21 % perusteella. Laskutoimitusten tulos:

$$68\,503 \text{ kWh} * 21 \% = 14\,386 \text{ kWh/vuosi} \qquad \text{ja} \qquad 7.885,12 \text{ €} * 21 \% = 1.656 \text{ €/vuosi}$$

9.3.2 Jäähdytysilman lämpötilan nostolla saavutettava säästö

Nykyisellään DC-labran konesalin jäähdytys tuottaa noin 23 asteisen konesalin huonelämpötilan. Jäähdyttävän ilmapirran lämpötilan nosto siten, että huonelämpötila olisi 27 °C voisi alentaa jäähdytyksessä tarvittavaa tehoa. Tiedämme, että 1 °F asteen lämpötilan muutos alentaa kuluja jopa 4-5 % (Energy Star 2017d.)

Energiansäästöt tällä toimenpiteellä, kun celsiusasteet on muunnettu fahrenheitasteiksi:

$$4 \% * (4^{\circ}\text{C} * 1,8) \approx 28 \% \qquad \text{ja} \qquad 5 \% * (4^{\circ}\text{C} * 1,8) \approx 36 \%$$

Energianhinta vuodessa 7.885,12 € ja siitä tehty arvioitu 28-36 % säästöä. Lasketaan tulos alemman säästöodotuksen perusteella eli 28 % perusteella. Laskutoimitusten tulos:

$$68\,503 \text{ kWh} * 28 \% = 19\,181 \text{ kWh/vuosi} \qquad \text{ja} \qquad 7.885,12 \text{ €} * 28 \% = 2.208 \text{ €/vuosi}$$

9.4 Virransyötön ja varavirtalähteen hyötysuhteen parantaminen

Eaton 9355 UPS-varavirtalaitteen tekniset tiedot -ohje kertoo, että kyseisen UPS:n käyttäminen Standard -tilassa puolella kuormalla tarkoittaa 90 % hyötysuhdetta eli siis 10 % sähköstä kuluu virran häviöihin UPS-laitteen sisällä. Standard -tilan käyttäminen täydellä kuormalla tarkoittaa 92 % hyötysuhdetta eli 8 % energiasta kuluu häviöihin. Jos käytössä on High Efficiency (korkea hyötysuhde) -tila, hyötysuhde on jo 98 %. Tällöin enää 2 % sähköstä kuluu häviöihin. (Eaton 2009, 2; Eaton 2017.)

Tehdään laskelma, kuinka paljon High Efficiency -tila säästää verrattuna Standard -tilaan. Etua saavutetaan siis 6 %-yksikköä. Aiemmin laskimme jo, että UPS syöttää ulos maksimissaan 118 260 kWh vuodessa, joten säästöksi saamme:

$$118\,260\text{ kWh} \cdot 6\% = 7\,096\text{ kWh/vuosi}$$

Sähkönhintaa laskettaessa käytetään tässäkin Oulun seudun sähkön laskuria: yleissähkön energian hinta on 5,59 snt/kWh ja siirtohintaa 5,57 snt/kWh. Mahdollisen menetyksen määrä, jos High Efficiency tila ei pysy päällä:

Energiamaksu: 426,88 €/vuosi. Lisäksi siirtomaksu: 709,56 €/vuosi.

Yhteensä energianhintaa: 1.136 €/vuosi.

High Efficiency -tila on automaattisesti päällä, jos sähköverkosta syötetyn sähkön laatu ja määrä ovat hyväksyttävällä tasolla. Jos sähkön laatu on jatkuvasti huono, tästä laskelmasta näkyy, kuinka paljon kustannuksia tulee lisää. Tämä osoittaa sen, että sähkön laadustakin kannattaa olla huolissaan, vaikkei se Suomen sähköverkossa yleensä ongelmia aiheutakaan. (Eaton 2014.)

9.5 Kaikki energiansäästötoimenpiteet yhdessä

Laskelmia tulkittaessa on otettava huomioon, että ne ovat laskettu ilman käytännön mittauksia ja laskelmien lähtöarvot ovat saatu laitteiden teknisistä tiedoista. Lisäksi on huomattava, että oletuksia tehonkulutuksista ja mahdollista säästöistä on jouduttu tekemään valmistajien ilmoittamista arvoista ja heidän itse mittaamistaan säästötoimenpiteiden tuloksista. On kuitenkin huomattava, että varovaisestikin arvioiden ja säästötoimenpiteiden

vaikuttavuutta aliarvioiden on selvää, että on kannattavaa ottaa käyttöön säästötoimenpiteitä, koska monet pienet toimenpiteet tuovat suuren kokonaishyödyn. Varsinkin jos kyseessä olisi esimerkiksi kertaluokkaa isompi konesali, jonka vuosittainen energiankulutus voisi olla moninkertainen KAMK:n opiskelijoiden konesaliin verrattuna.

Taulukko 1. Energiansäästötoimenpiteiden teoriassa tuomat säästöt

	Säästetyt kWh	Säästetyt eurot
Laitekaappien energiansäästö (VMwaren energiansäästötoimet 20 %)	31 010	3 479
Laitekaappien energiansäästö (VMwaren energiansäästötoimet 10 %)	15 505	1 740
Jäähdytyslaitteiston energiansäästö (Kylmä- ja kuumakäytävöinti)	14 386	1 656
Jäähdytyslaitteiston energiansäästö (Jäähdytyslämpötilan nosto)	19 181	2 208
<i>UPS-laitteistossa mahdollinen energianmenetys, jos on huono sähkönlaatu. Ei mukana laskussa.</i>	-7 096	-1 136
Yhteensä (VMware 20 %)	64 577	7 343
Yhteensä (VMware 10 %)	49 072	5 604

Taulukossa 1 on laskettu kaikkien teoreettisesti laskettujen energiansäästötoimenpiteiden tuomat säästöt. Taulukossa on myös eritelty laskelmissa VMwaren erilaiset säästöennusteet eli 10 % tai 20 % säästömahdollisuus normaaliin energiankulutukseen. Lisäksi taulukossa on tuotu esille UPS-laitteen mahdollinen energiahäviö ja siitä johtuva ylimääräinen kustannus, jos sähköverkossa on laadun vaihtelu liian suurta eikä UPS-laite voi toimia parhaalla mahdollisella hyötysuhteella. Sitä ei kuitenkaan laskettu mukaan yhteensä -riville.

10 Pohdinta

Miksi energiatehokkuuteen kannattaa perehtyä ja miksi sitä kannattaa mitata? Tavoitteena on säästää energiaa, koska se säästää taloudellisia resursseja ja se tarkoittaa selvää rahaa. Eräs tutkimus kertoo, että konesalin IT-laitteissa säästetty 1 Wh tuo koko konesalin infrastruktuurissa laskettaessa energiankulutukseen liki kaksinkertaisen säästön. Mittaaminen on kuitenkin ainoa keino saada selville suunnitellun ja täytöntöön laitetun toiminnan paikkansapitävyys. Kehitystyön oikean suunnan toteaminen ja varmistaminen onnistuvat vain mittaamalla. Tämä asia onkin jo aiemmin todettu kuuluisan tutkijan Lordi Kelvinin toteamuksella (Liite 1), jossa mainitaan mittaamisen olevan erityisen tärkeää teollisessa toiminnassa.

Miten sitten mitataan? Erilaisia mittareita, mittaustapoja ja asioita mitä voi mitata löytyy paljon. Tarjolla olevista vaihtoehdoista on valittava itselle sopivat ja tarpeelliset mittarit. Ei kannata mitata kaikkea mitä on mahdollista mitata, koska kaiken mittaaminen ja varsinkin tuloksien tulkinta voi olla hyvin aikaa vievää työtä.

Miten tuloksia sitten käsitellään ja tulkitaan? Pelkkä mittaaminen ja tulosten tallentaminen eivät riitä. Tuloksia on tulkittava, niiden perusteella on tehtävä pitkän ja lyhyen aikavälin suunnitelmia ja niitä on myös toteutettava. Energiankulutuksen muutoksiin on löydettävä syyt ja niihin on reagoitava ennakolta suunnitellulla tavalla.

Ne konesalien energiatehokkuuden osa-alueet, jotka ovat atk-laitteiden ulkopuolisia ja joihin pystytään itse vaikuttamaan, liittyvät sähkönsyöttöjärjestelmiin ja varavoiman ylläpitoon, jäähdytyksen energiankulutukseen, ilmankosteuden sääntelyyn, valaistukseen sekä valvontalaitteistojen kuluttamaan sähköön. Koska tästä suurin osa energiankulutuksesta kohdistuu sähkönsyöttöön, jäähdytykseen ja varavoimaan, piilee niissä myös suuri mahdollisuus vaikuttaa energiatehokkuuteen. Jos tehostamistoimiin paneudutaan huolella, esim. Motivan laskelmien perusteella on mahdollista päästä jopa 40 - 50 % energiansäästöön vuositason tasolla. Tällä tuloksella pitäisi olla jo suurta merkitystä sellaisenkin kirjanpidossa, joka ajattelee vähemmän ekologisesti.

Virtualisoimalla palvelimia voidaan jakaa kuormaa kaikille resursseille tasaisemmin, tai sammuttaa osa vähän kuormitetuista järjestelmistä, kunnes uutta laskentatehoa taas tarvitaan. Tällöin kuormitetaan enemmän jo olemassa olevia palvelinjärjestelmiä eikä tarvitse hankkia uusia. Virtualisoinnilla parannetaan hyötysuhdetta, joka voi suuresti alentaa kustannuksia.

Virransyötön optimoiminen ja UPS-varavirtalaitteiden uudet tehokkaat akkutekniikat ovat kalliita hankkia, mutta myös tehokkaita käytössä. Investoinnit saattava olla kuitatut jopa parissa kolmessa vuodessa, riippuen siitä, kuinka vanhoja järjestelmiä ollaan korvaamassa.

Valaistuksen hallinta on energiankulutuksen hienosäätöä, mutta saadaan watteja säästettyä talteen tästäkin. Isojen tai peräti valtaviin konesalien valaiseminen ei kannata silloin, kun siellä ei ole henkilökuntaa paikalla. Valaistuksen automatisointi liikkeentunnistimien avulla sekä vähävirtaisten LED-lamppujen käyttäminen auttaa pienentämään sähkönkulutusta tältäkin osin.

Vapaajäähdytys on energiatehokkain jäähdytyksen muoto. Se vaatii viileän ympäristön, josta voi ammentaa kylmävarastoa eli Suomen olot napapiirin tuntumassa ovat aika hyvät tähän tarkoitukseen. Tämä on lähes ilmainen jäähdytys-elementti Suomessa, joten sitä kannattaa ehdottomasti hyödyntää. Pelkona voi pitkässä juoksussa olla, että katoaako aikanaan ilmastomuutoksen vuoksi kylmä etumme kuin menneen talven lumet.

Voidaan kuitenkin yleisesti todeta, että kannattaa lämmittää taloja eikä harakoita, eli otetaan ylimääräinen lämpö hyötykäyttöön lämmittämään kiinteistöjä. Tästä on hyötyä hukkalämmön tuottajalle, joka saa osan sähkökuluistaan takaisin, sekä hukkalämmön ostajalle, joka mahdollisesti saa lämpönsä hiukan halvemmalla ja ekologisemmin. Kannattaa siis tarjota itselle ylimääräistä lämpöä kiinteistöihin, jos se teknisesti on kohtuullisen helppo ja edullinen toteuttaa. Tutkimusten mukaan palvelinkeskuksesta on mahdollista saada jopa 30 - 50 % ylimääräisestä lämmöstä hyötykäyttöön.

Energiatehokkuudessa pyritään tietysti ensisijaisesti säästämään suoraan sähkönkulutuksessa, mutta siihen voi pyrkiä kiertotietäkin. Esimerkiksi eräs energiatehokkuuden osa-alue eli tilasuunnittelu voi tarkan suunnittelun avulla hyödyntää neliömetrit paremmin. Tästä johtuen ensinnäkin vuokratulot voivat laskea, ja kun jäähdytystä tarvitsevaa tilaa on vähemmän, jäähdytystehoakin tarvitaan todennäköisesti vähemmän. Tilojen pieneneminen saattaa tästä syystä myös vaikuttaa muihin yleisiin lämmitys- tai ilmastointikuluihin.

Energiatehokkuus tarkoittaa myös sitä, että hyötysuhde paranee laskentakuormaa lisättäessä lähelle optimia eli lähes täyttä kuormaa. Tämä tarkoittaa, että laiteinvestoinnit tulevat paremmin hyödynnettyä, joten laiteresursseja tarvitaan vähemmän. Tämä auttaa alentamaan sekä hankintakustannuksia että energiakuluja. Lisäksi eräs energiatehokkuuden osa-alue eli järjestelmien ja valvonnan parempi automatisointi vähentävät inhimillisiä virheitä järjestelmien säätämisessä.

Ilman tehokasta energiankulutuksen hallintaa konesalioperaattoreilla on edessään ankara kamppailu kilpailijoidensa kanssa, koska energia vie suuren osan konesalin käyttöbudjetista. Esimerkiksi jäähdytys on toiseksi suurin yksittäinen sähköenergian kuluttaja datakeskuksen toiminnassa. Sähkönkulutus on siis suurin yksittäinen muuttuva kustannus, johon voidaan vaikuttaa konesalin kulurakenteessa. Laitteiden hankinta ja konesalin perustaminen ovat tietenkin kuluina suurin yksittäinen kustannus, mutta niihin ei voi enää vaikuttaa hankinnan jälkeen.

On siis entistä tärkeämpää kiinnittää huomiota energiatehokkuuteen. Olisi tärkeää, että samalla kilowattimäärällä voisi saavuttaa entistä suuremman asiakaskunnan ja tarjota entistä monipuolisemman palveluvalikoiman. Toinen vaihtoehto olisi tuottaa vähemmillä kilowateilla sama palvelumäärä kuin aikaisemminkin. Kummin päin tahansa tehdäänkään, energiatehokkaalla tavalla tarjotut konesalipalvelut eivät ole yksinomaan edullisempia asiakkailleen, vaan myös niiden pienemmän hiilijalanjäljen takia ne ovat myös ympäristöystävällisempiä.

Atk-ympäristössä kannattaa erityisesti huolehtia konesalien energiankulutuksen jatkuvasta ja suunnitelmallisesta mittaamisesta, raportoinnista ja seurannasta. Jatkuvan seurannan avulla pitää pystyä varmistamaan, että näiden mittaustietojen avulla kehitetään ja otetaan käyttöön uusia entistä tehokkaammin energiaa hyödyntäviä teknologioita.

Koska konesalien energiankulutuksen kasvulle ei vielä ole näkyvissä käännettä, vaan uusien konesalien rakentaminen ja vanhojen korvaaminen jatkuvat vielä, on ehdottoman tärkeää ottaa huomioon energiatehokkuus. Tälle löytyvät sekä selkeät taloudelliset että ympäristöpoliittiset syyt. Suomalaisten konesaliyritysten kannattaisi enemmän markkinoida itseään esim. tuulivoiman, aurinkoenergian tai muun vihreän energiamuodon käyttäjiksi. Tällä voi olla suurta merkitystä ekologista ajattelua tukevien yritysasiakkaiden houkuttelemiseksi.

Suomen kannattaisikin valtiollisella tasolla enemmän markkinoida vapaajäähdytyksen mahdollistavaa ympäristöä mahdollisuutena ja energiatehokkaita konesaleja edistyksellisinä ja nykyaikaisina tuotantoyksiköinä. Suomalaiset ovat myyneet tervaa ja puuta, sellua ja paperia, nyt olisi mahdollisuus myydä kylmää ilmaa ja digitaalisia palveluja. Olisi tuotava paremmin esille, että kun Suomessa on energiatehokkaita ja ekologisista konesalialan toimijoita, asiakkaille on samalla mahdollista tuottaa myös tietoturvallisia ja yksityisyyden suojaa kunnioittavia palveluja. Näille molemmille tuotteille on markkinoilla nyt kysyntää. Tätä viestiä kannattaisi suomalaisten konesalitoimijoiden toistaa maailmalla.

Opinnäytetyösuunnitelman tavoitteena oli tehdä konkreettisia mittauksia Kajaanin ammatikorkeakoulun tietojärjestelmälaboratorion opiskelijakäyttöisessä konesalissa. KAMK:n kumppaniyrityksen mittalaitesennuksessa ilmenneiden aikatauluongelmien vuoksi näistä mittauksista jouduttiin kuitenkin luopumaan. Sen sijaan työssä on teoriassa laskettu ja esitelty taloudellisesti kannattavia, kohtuullisen helposti käyttöönotettavia keinoja energiatehokkuuden parantamiseksi pienissä konesaleissa. Esimerkkinä laskelmissa on käytetty KAMK:n tietojärjestelmälaboratorion konesalia. Jatkoa ajatellen työtä voisi jatkaa ja tehdä jatkotutkimuksen oikeilla käytännön energiankulutusmittauksilla. Tämä vaatisi sen, että konesalissa saadaan tarvittavat anturit, mittarit ja monitorointiohjelmat käyttöön ja että konesalia saa käyttää tulevassa työssä tarvittaviin ”ennen ja jälkeen” -mittauksiin.

Tässä opinnäytetyössä tehtyjen oletuslaskelmien ja ehkä joskus myöhemmässä opinnäytetyössä mitattavien todellisten arvojen eroa voi selittää laitteistovalmistajien ja koulun konesaliympäristöjen erilaisuus, jolloin samat energiansäästötoimet eivät tuota samanlaisia tuloksia. Lisäksi kokonaistulokseen vaikuttaa varmaan osaltaan se, että vain Kaappi nro 5:tä oli käytettävissä jonkinlaisia virrankulutustietoja ja muista laitekaapeista oli käytössä vain arvailuun perustuvia tietoja. Lisäksi kaikki laitteistot eivät ole konesalin UPS-varavirtalaitteen sähkönsyöttöjärjestelmässä kiinni, joten senkin osalta laskelmat ovat vain teoriaa. Konesalililaa jäähdyttävästä laitteesta oli käytettävissä maksimitehokulutustiedot, josta tehtiin päätelmiä varsinaisesta kulutuksesta. On sinänsä harmi, että päätelmät mahdollisista säästöistä on jouduttu tekemään pelkästään teoriassa, eikä päätöksiä säästötoimenpiteistä päästä tekemään käytännössä todettujen laskelmien perusteella.

Opinnäytetyössä tehdyt teoreettiset laskelmat tietojärjestelmälaboratorion säästötoimista kuitenkin osoittavat, että myös pienessä konesalissa kannattaa ottaa käyttöön energiatehokkuustoimenpiteitä. Vaikka KAMK:n opiskelijoiden konesali luokitellaan pieneksi, niin monet vähäiseltä tuntuvat toimenpiteet yhdessä tehtynä saavat aikaan suuria säästöjä. Puhumattakaan kertaluokkaa suuremmista konesaleista, joissa ei välttämättä ole vielä otettu yhtään energiansäästötoimenpidettä käyttöön.

Lähteet

- Kansikuva: Karjalainen U. (2017). Valokuva-albumi. 6.10.2017.
- 42U. (2008). *Data Center Temperature*. 27.1.2008. Viitattu 20.11.2017. DirectNET. <http://www.42u.com/cooling/data-center-temperature.htm>.
- AFCOM. (2014). *Data Center Standards. Data Center Size and Density*. 1.9.2014. Viitattu 26.9.2017. The Strategic Directions Group Pty Ltd. https://www.afcom.com/Public/Data_Center_Institute/Publications_and_Research/Public/4/Publication.aspx?hkey=8532a849-e60f-483f-a76c-a112a3cfa171
- Boyle, B. (2016). *DCIM: The Big List*. 11.4.2016. Viitattu 6.11.2017. Datacenter Dynamics. <http://www.datacenterdynamics.com/content-tracks/design-build/dcim-the-big-list/95985.fullarticle>.
- Cole, D. (2012). *Data center infrastructure management*. Toukokuu 2012. Viitattu 18.10.2017. Data Center Knowledge. https://connect.ufl.edu/cns/DCO/dcim/White%20Papers/1_19292_DCK_Guide_to_DCIM_Final.pdf.
- DCJako. (2017). *Dokumentaatio*. 17.8.2016. Viitattu 13.11.2017. Z:\Ylläpito\Dokumentaatio\Konesalit\Labran sali\Kaappi 5\Kaappi 5 - Teoreettinen virrankulutus.xlsx
- Eaton. (2009). Eaton 9155 and 9355 datasheet. n.d. Viitattu 17.11.2017. Eaton. http://pqlit.eaton.com/ll_download_bylitcode.asp?doc_id=2857.
- Eaton. (2014). *Understanding high-efficiency mode UPS return on investment*. November. 2014. Viitattu 1.12.2017. Eaton. http://powerquality.eaton.com/About-Us/News-Events/Whitepapers/whitepaper.asp?doc_id=28072&paperID=117.
- Eaton. (2017). *Alhaisemmat elinkaarikustannukset*. n.d. Viitattu 17.11.2017. <http://powerquality.eaton.com/Suomi/TCO/default.asp?cx=79>.
- Energy Star. (2017). *About Energy Star*. n.d. Viitattu 9.11.2017. Energy Star. <https://www.energystar.gov/about>.

- Energy Star. (2017b). *Energy Star Score for Data Centers*. n.d. Viitattu 9.11.2017. Energy Star. <https://www.energystar.gov/buildings/tools-and-resources/energy-star-score-data-centers>.
- Energy Star. (2017c). *12 Ways to Save Energy in Data Centers and Server Rooms*. n.d. Viitattu 9.11.2017. Energy Star. https://www.energystar.gov/products/low_carbon_it_campaign/12_ways_save_energy_data_center.
- Energy Star. (2017d). *Server Inlet Temperature and Humidity Adjustments*. n.d. Energy Star. https://www.energystar.gov/products/low_carbon_it_campaign/12_ways_save_energy_data_center/server_inlet_temperature_humidity_adjustments.
- EPA. (2012). *Best Practices for Data Centers, Using Your FEC Experiences to Take the Next Step*. 12.7.2012. Viitattu 10.10.2017. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/datacenters.pdf>.
- Gartner. (2016). *Gartner Says Hyperconverged Integrated Systems Will Be Mainstream in Five Years*. 5.5.2016. Viitattu 2.11.2017. Gartner. <https://www.gartner.com/newsroom/id/3308017>.
- Geng, H. (2015). *Data center handbook*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Greentelecomlive. (2009). *HP's Data Center Environmental Edge offers visualization tools for energy management*. Viitattu 13.10.2017. Greentelecomlive. <http://www.greentelecomlive.com/2009/11/11/hps-data-center-environmental-edge-offers-visualization-tools-for-energy-management/>.
- Google. (2017). *Efficiency: How we do it*. n.d. Viitattu 30.11.2017. Google. <http://www.google.com/about/datacenters/efficiency/internal/>.
- Hamilton, J. (2010). *Overall Data Center Costs*. Viitattu 18.10.2017. Perspectives. <http://perspectives.mvdirona.com/2010/09/overall-data-center-costs/>.
- Ireland, B. (2013). *Data Center Efficiency Trends*. 15.7.2013. Viitattu 18.10.2017. Electrical Construction & Maintenance. <http://ecmweb.com/energy-efficiency/data-center-efficiency-trends>.
- iTracs. n.d. *What is Data Center Infrastructure Management?* n.d. Viitattu 6.11.2017. iTracs. <https://www.itracs.com/what-is-data-center-infrastructure-management/>.

- Jääskeläinen, M. (2017). *Hyperkonvergoitu konesali säästää aikaa, rahaa ja hermoja*. 30.10.2017. Viitattu 2.11.2017. Tivi. <http://www.tivi.fi/Kumppanit/hpe/hyperkonvergoitu-konesali-saastaa-aikaa-rahaa-ja-hermoja-6684608>.
- Karjalainen U. (2017). Kansikuva ja KAMK:n konesalin valokuvat. 6.10.2017.
- Kolehmainen, A. (2017). *Konesaleja mullistava trendi lähti lentoon Suomessa*. 17.8.2017. Viitattu 31.10.2017. Tivi. http://www.tivi.fi/Kaikki_uutiset/konesaleja-mullistava-trendi-lahti-lentoon-suomessa-6669729.
- Koomey, J. (2007). *A simple model for determining true total cost of owner-ship for data-centers*. n.d. Viitattu 18.10.2017. Uptime Institute. <http://www.premiersolutionsco.com/wp-content/uploads/2010/12/Total-Cost-Of-Ownership-For-Data-Centers.pdf>.
- Koomey, J. & Taylor, J. (2015). New data supports finding that 30 percent of servers are 'Comatose', indicating that nearly a third of capital in enterprise data centers is wasted. 3.6.2015. Viitattu 23.11.2017. Anthesis Group. https://anthesis-group.com/wp-content/uploads/2015/06/Case-Study_DataSupports30Percent-ComatoseEstimate-FINAL_06032015.pdf.
- LBNL. (2016a). *Photo archive*. Viitattu 27.9.2017. Lawrence Berkeley National Laboratory. <http://photos.lbl.gov/bp/#/folder/129353/>
- LBNL. (2016b). *United States Data Center Energy Usage Report - LBNL-1005775*. Viitattu 18.10.2017. Lawrence Berkeley National Laboratory. https://eta.lbl.gov/sites/all/files/publications/lbnl-1005775_v2.pdf.
- Loiste. (2017). *Sähkönmyynti*. n.d. Viitattu 16.11.2017. <https://www.loiste.fi/sahkonmyynti>.
- Lucido, N. (2012). *Data Center Utilization Report*. 13.4.2012. Viitattu 20.10.2017. Lawrence Berkeley National Laboratory. <https://commons.lbl.gov/display/itdivision/2012/04>.
- Motiva (2010). *Selvitys IT-ympäristön sähkösäästökeinoista*. 3.12.2010. Viitattu 15.9.2017. Motiva. http://www.motiva.fi/files/4427/Konesalipalvelujen_energiatohokkuuden_periaatteet.pdf.

- Motiva (2010b). *Energiatehokkuusvaatimukset IT-ympäristön hankinnoissa*. 3.12.2010. Viitattu 9.11.2017. Motiva. https://www.motiva.fi/files/4425/Energiatehokkuusvaatimukset_IT-ympariston_hankinnoissa.pdf.
- Motiva (2010c). *Selvitys työasemaympäristön sähkönsäästämahdollisuuksista*. 3.12.2010. Viitattu 9.11.2017. Motiva. https://www.motiva.fi/files/4424/Selvitys_IT-ympariston_sahkonsaastokeinoista.pdf.
- Motiva. (2011a). *Energiatehokas konesali*. 2011. Viitattu 15.9.2017. Motiva. http://www.motiva.fi/files/4828/Energiatehokas_konesali.pdf.
- Motiva. (2011b). *Motiva: Konesaleille miljoonasäästöt energiatehokkuudesta*. 30.11.2011. Viitattu 15.9.2017. Kauppalehti. <http://www.kauppalehti.fi/5/i/yritykset/lehdisto/hel-link/tiedote.jsp?selected=kaikki&oid=20111101/13226472563530>.
- Möttönen T. (2017). *Datacenter-laboratorion projektityöntekijä*. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Haastattelu 13.11.2017.
- Nevalainen, J. (2011). *Valvontadatan keräys ja visualisointi*. Diplomityö. Helsinki: Aalto-yliopisto. <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/3712/urn100464.pdf?sequence=1>.
- Nielsen, T. K., & Bouley, D. (2012). *How data center infrastructure management software improves planning and cuts operational costs*. n.d. Viitattu 6.11.2017. Schneider Electric. http://www.apc.com/salestools/DBOY-8B8KKJ/DBOY-8B8KKJ_R3_EN.pdf.
- Niemann J., Bean J. & Avelar V. (2011). *Economizer Modes of Data Center Cooling Systems*. n.d. Viitattu 8.11.2017. APC by Schneider Electric. http://www.apc.com/salestools/JNIN-7RMNRX/JNIN-7RMNRX_R0_EN.pdf.
- NREL. (n.d.). *ESIF High performance computing data center*. n.d. Viitattu 29.11.2016 ja 18.10.2017. National Renewable Energy Laboratory. <http://hpc.nrel.gov/COOL/>.
- NSCC. (2017). *National Supercomputing Center in Wuxi*. n.d. Viitattu 10.10.2017. NSCC. <http://www.nscwx.cn/>
- Oulun seudun sähkö. (2017). *Hintalaskuri*. n.d. Viitattu 16.11.2017. <https://www.oulu-seudunsahko.fi/Sahko/MeidanSahko-palvelut/Hintalaskuri>.

- Pakarinen, T. (2014). *DCIM-järjestelmän testaaminen CSC:lle*. AMK-opinnäytetyö. Kajaanin ammattikorkeakoulu. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2014120818959>.
- Poikonen, V. M. (2010). *ATK-konesalitekniikan perusparannussuunnitelma*. AMK-opinnäytetyö. Metropolia AMK. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2010060811775>.
- Poletti, T. (2017). *Is hyperconvergence the next big thing in tech?* 8.4.2017. Viitattu 2.11.2017. MarketWatch. <https://www.marketwatch.com/story/is-hyperconvergence-the-next-big-thing-in-tech-2017-04-03>.
- Rasmussen, N. (2012). *Avoiding Costs from Oversizing Data Center and Network Room Infrastructure*. n.d. Viitattu 8.11.2017. APC by Schneider Electric. http://www.apc.com/salestools/SADE-5TNNEP/SADE-5TNNEP_R7_EN.pdf.
- Rasmussen, N. & Standley, B. (2007). *Cooling Strategies for IT Wiring Closets and Small Rooms*. n.d. Viitattu 18.10.2017. American Power Conversion APC by Schneider Electric. http://www.apc.com/salestools/NRAN-6NDTJM/NRAN-6NDTJM_R1_EN.pdf.
- Rouse, M. (2010). *Data center*. Viitattu 30.10.2017. TechTarget <http://searchdatacenter.techtarget.com/definition/data-center>.
- Rouse, M. (2014). *Hyper-convergence*. Viitattu 1.11.2017. TechTarget. <http://searchconvergedinfrastructure.techtarget.com/definition/hyper-convergence>.
- Sasser, J. (2016). *A Look at Data Center Cooling Technologies*. n.d. Viitattu 18.10.2017. Uptime Institute. <https://journal.uptimeinstitute.com/a-look-at-data-center-cooling-technologies/>.
- Selamo, K. (2014). *Energiätehokkuus - vähemmän on enemmän*. 28.8.2014. Viitattu 23.11.2016. Yrittäjän Sähkönhankinta Oy. <http://sahkonhankinta.fi/energiatehokkuus-vahemman-on-enemman/>
- Smolaks M. (2014). *Number of data centers to decrease after 2017*. 11.11.2014. Viitattu 3.11.2017. DatacenterDynamics. <http://www.datacenterdynamics.com/content-tracks/colo-cloud/number-of-data-centers-to-decrease-after-2017/91495.fullarticle>.

- Sodhi, R. (2017). *Zombie servers lurk in your facility*. 15.9.2017. Viitattu 31.10.2017. DatacenterDynamics. <http://www.datacenterdynamics.com/content-tracks/design-build/zombie-servers-lurk-in-your-facility/98968.article>.
- Stengård, P. (2014). *Konesalin jäähdytysjärjestelmät*. AMK-opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2014060111224>.
- Ström-Lepola, K. (2013). *Vihreän ICT:n toimintaohjelma*. 13.12.2013. Viitattu 20.10.2017. Liikenne- ja viestintäministeriö. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-369-5>.
- Sunbird. (2017). *What is DCIM?* Viitattu 23.10.2017. Sunbird. <http://www.sunbirddcim.com/what-dcim>.
- Sverdlik, Y. (2015). *The Problem of Inefficient Cooling in Smaller Data Centers*. 4.12.2015. Viitattu 23.11.2017. Data center Knowledge. <http://www.datacenterknowledge.com/archives/2015/12/04/the-problem-of-inefficient-cooling-in-smaller-data-centers>.
- Sverdlik, Y. (2016). *Here's How Much Energy All US Data Centers Consume*. 27.7.2016. Viitattu 31.10.2017. Data Center Knowledge. <http://www.datacenterknowledge.com/archives/2016/06/27/heres-how-much-energy-all-us-data-centers-consume/>.
- TCO. (2017). *TCO Certified*. n.d. Viitattu 30.11.2017. <http://tcocertified.com/tco-certified/>.
- TechTarget. (2017). *Break down the challenges, benefits of hyper-converged infrastructure*. n.d. Viitattu 1.11.2017. TechTarget. <http://searchdatacenter.techtarget.com/guide/Break-down-the-challenges-benefits-of-hyper-converged-infrastructure>.
- The Green Grid. (2007). *The Green Grid Data Center Power Efficiency Metrics: PUE and DCiE*. Viitattu 23.10.2017. Premier Solutions Co. http://www.premiersolutionsco.com/wp-content/uploads/TGG_Data_Center_Power_Efficiency_Metrics_PUE_and_DCiE.pdf.
- The Green Grid. (2010). *Ere: A Metric for Measuring the Benefit of Reuse Energy from a Data Center*. Viitattu 23.10.2017. The Green Grid. https://eehpcwg.llnl.gov/documents/infra/06_energyreuseefficiencymetric.pdf.
- Thomson, W. (1889). *Popular Lectures and Addresses, Vol. I*. London: MacMillan.

- Tolonen J. (2017). *Tietojärjestelmät koulutusalan lehtori*. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Haastattelu 14.6.2017.
- TOP500 Project. (2017). *Top500 Lists*. Viitattu 5.10.2017. Top500 Lists. <https://www.top500.org/lists/>
- Vargas, M. (2014). *10 Facts to Know About Data Centers*. 17.11.2014. Viitattu 30.10.2017. U. S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. <https://energy.gov/eere/articles/10-facts-know-about-data-centers>.
- Yle-uutiset. (2016). *Miksi Google lämmittää Suomenlahtea? Datakeskusten hukkalämmöllä lämmittäisi ainakin miljoonan ihmisen omakotitalot*. 20.10.2015. Viitattu 30.10.2017. Yle-uutiset Talous. <http://yle.fi/uutiset/3-8398301>.
- Ympäristöministeriö. (2011). *Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas*. 12.9.2011. Viitattu 20.10.2017. Rakentamismääräyskokoelma. <http://www.ym.fi/download/no-name/%7BB9D6D2F2-A816-4ECF-BE33-B8D56869253D%7D/30752>.
- VMware. (2013). *Host Power Management in VMware vSphere® 5.5*. n.d. Viitattu 15.11.2017. <https://www.vmware.com/content/dam/digitalmarketing/vmware/en/pdf/techpaper/hpm-performance-vsphere55-white-paper.pdf>.
- VMware. (2017). *Introduction to VMware DRS and VMware HA Clusters*. n.d. Viitattu 10.11.2017. VMware. https://pubs.vmware.com/vsphere-50/index.jsp?topic=%2Fcom.vmware.wssdk.pg.doc_50%2FPG_Ch13_Resources.15.6.html.
- VMware. (2017b). *Distributed Resource Scheduler, Distributed Power Management*. n.d. Viitattu 16.11.2017. VMware. <https://www.vmware.com/products/vsphere/drs-dpm.html>.
- VMware. (2017c). *VMware vSphere Distributed Services*. n.d. Viitattu 15.11.2017. VMware. https://pubs.vmware.com/vsphere-50/index.jsp?topic=%2Fcom.vmware.vsphere.introduction.doc_50%2FGUID-30922C58-F20F-487E-992B-EDFBADF59122.html.
- Wikipedia. (2017a). *Data center*. n.d. Viitattu 12.9.2017. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Data_center.

- Wikipedia. (2017b). *Data center infrastructure management*. n.d. Viitattu 2.11.2017. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Data_center_infrastructure_management.
- Wikipedia. (2017c). *LINPACK benchmarks*. n.d. Viitattu 10.10.2017. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/LINPACK_benchmarks.
- Wikipedia. (2017d). *Linpack*. n.d. Viitattu 10.10.2017. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/LINPACK>
- Wikipedia. (2017e). *Lineaarialgebra*. n.d. Viitattu 10.10.2017. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Lineaarialgebra>
- Wikipedia. (2017f). *Fortran*. n.d. Viitattu 10.10.2017. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Fortran>
- Zabbix. (2017). *Zabbix Documentation 2.4 - Screens*. n.d. Viitattu 6.11.2017. Zabbix. https://www.zabbix.com/documentation/2.4/manual/web_interface/frontend_sections/monitoring/screens.

Liitteet

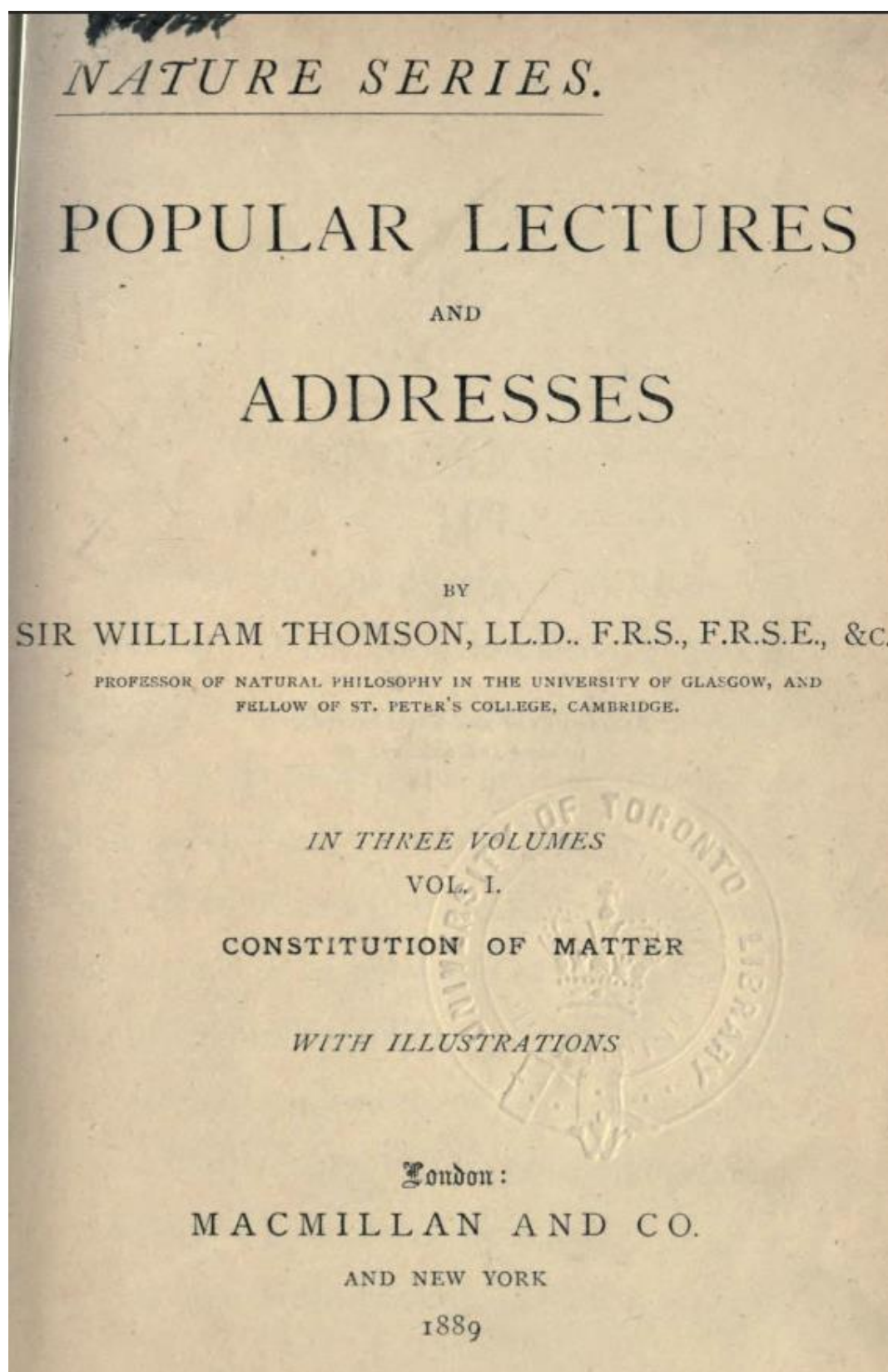
"If you cannot measure it, you cannot improve it." (William Thomson myöhemmin arvonimellä Lord Kelvin 1889).

"In physical science, the first essential step in the direction of learning any subject is to find principles of numerical reckoning and practicable methods for measuring some quality connected with it. **I often say that when you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it; but when you cannot measure it, when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind**; it may be the beginning of knowledge, but you have scarcely in your thoughts advanced to the state of Science, whatever the matter may be."

Thomson, W. 1889. Popular Lectures and Addresses, Vol. I. London: MacMillan. p. 73-74

William Thomsonin kirjan kansilehti sekä kuvakaappaukset kirjan sivuista 73-74.

<https://archive.org/stream/popularlecturesa01kelvuoft#page/n7/mode/2up>



ELECTRICAL UNITS OF MEASUREMENT.

*[A Lecture delivered at the Institution of Civil Engineers
on May 3, 1883; being one of a series of Six Lectures
on "The Practical Applications of Electricity."]*

IN physical science a first essential step in the direction of learning any subject is to find principles of numerical reckoning and methods for practicably measuring some quality connected with it. I often say that when you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it; but when you cannot measure it, when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind: it may be the beginning of knowledge, but you have scarcely, in your thoughts, advanced to the stage of *science*, whatever the

matter may be. I may illustrate by a case in which this first step has not been taken. The